PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 6 — 15. März 1939 — Redaktionsschluß für Nr. 8 am 1. April 1939 — 40. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

H. Johannsen, I. Prüfung der Härte von Waagenschneiden und -pfannen bei der Eichung. II. Untersuchungen über die Genauigkeit der Vorlasthärteprüfung. S. 185.

E.-W. Helmholz, Über ein Röhrenprüffeld zur Messung von Durchgriff, Steilheit und innerem Widerstand mittels Wechselstrom. S. 201.

M. Toepler, Schlagweitenvergrößerung durch den Strahlstoß und Strahlhelligkeit von Stoßfunken. S. 206.

Zuschriften:

A. Scheibe und U. Adelsberger, Aussendung von Normalfrequenzen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender. S. 216.

Besprechungen:

Fortschritte der Astronomie. Bd. 1. S. 217.

Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Lieferung 467. S. 217.

G. Hoheisel, Gewöhnliche Differentialgleichungen. S. 217.

K. W. F. Kohlrausch, Der Smekal-Raman-Effekt. Ergänzungsband 1931–1937. S. 217.

G. Kowalewski, Große Mathematiker. S. 218.

M. Littmann, Getterstoffe und ihre Anwendung in der Hochvakuumtechnik. S. 218.

B. Riemann, Partielle Differentialgleichungen und ihre Anwendungen auf physikalische Fragen. 3. Aufl. Neudruck S. 219.

G. Scheffers, Lehrbuch der Mathematik. 7. Aufl. S. 219.

W. Blaschke und G. Bol, Geometrie der Gewebe. S. 219.

J. Thibaud, L. Cartan und P. Comparat, Quelques techniques actuelles en physique nucléaire. S. 219.

W. A. Wooster, A text book on crystal physics. S. 220.

Nachrichten. S. 220.

ABHANDLUNGEN

I. Prüfung der Härte von Waagenschneiden und -pfannen bei der Eichung

(Erläuterung zum 635. Zusatz zur Instruktion)[1])

II. Untersuchungen über die Genauigkeit der Vorlasthärteprüfung

Von H. Johannsen

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

I

Die Eichordnung vom 8. November 1911[2]) schreibt hinsichtlich der Härte der Schneiden und Pfannen von Handelswaagen im § 88 Nr. 7 vor: „Schneiden und Pfannen müssen an den sich berührenden Teilen aus hartem Stahl von genügender Festigkeit hergestellt ... sein." Hierzu heißt es in den Ausführungsbestimmungen (Instruktion) zur Eichordnung vom 27. November 1911[3]): „Ob die sich berührenden Teile der Schneiden und Pfannen aus Stahl von genügender Härte bestehen, ist lediglich mit einer gewöhnlichen Schlichtfeile zu prüfen. Die Schneiden dürfen nicht glashart, sondern nur so weit angelassen sein, daß sie der Schlichtfeile gerade noch genügenden Widerstand entgegensetzen." Diese Erläuterung wurde später geändert. In den Ausführungsbestimmungen vom 22. September 1932 heißt es[1]):

(Nr. 6a) „Die Schneiden müssen aus Stahl hergestellt sein, der durch Abschreckung ohne Zuhilfenahme eines Härtemittels hart wird und durch Erwärmung für die Bearbeitung weich gemacht werden kann ... Die Härte genügt, wenn eine flache Präzisionsfeile Hieb 6 an den Winkelflächen der Schneide nicht angreift."

(Nr. 7b) „Als Material für Pfannen ist Stahl gemäß Nr. 6a zu verwenden (Eisenhartguß, Temperguß, Atlasstahl od. dgl. sind unzulässig)."

(Nr. 7c) „Die Härte der Stahlpfannen genügt, wenn eine flache Präzisionsfeile Hieb 6 nicht angreift; ihre Oberfläche muß jedoch ebenso hart sein wie die der zugehörigen Schneiden."

Bei der Waageneichung entstanden manchmal zwischen dem Eichbeamten und dem Hersteller oder Instandsetzer der Waage Meinungsverschiedenheiten über die Auslegung dieser Härtebestimmungen. Außerdem wurde beobachtet, daß die Forderungen der Eichbeamten an verschiedenen Orten zum Teil recht verschieden waren. Deshalb entschloß sich die Physikalisch-Technische Reichsanstalt im Jahre 1935, die

1) Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, 14. Reihe, Nr. 2, S. 31.

2) Reichsgesetzblatt, S. 960, und besondere Beilage zu Nr. 62 des Reichsgesetzblattes.

3) Instruktion VI, Nr. 3d.

1) Instruktion VI A (Handelswaagen), Nr. 6a und 7b und c; Verlag Deutsches Reichsgesetzbuch für Industrie, Handel und Gewerbe in Berlin, 1932.

Härtebestimmungen entsprechend den Fortschritten der Härtemeßtechnik auf eine zahlenmäßige Härteprüfung abzustellen. Mit Rücksicht auf ihre große Verbreitung wurde, trotz mancher Vorzüge der Vickers-Härteprüfung[1]), die Vorlasthärteprüfung mit abgestumpftem Diamantkegel (Rockwell-Härtemessung nach der *C*-Skale; DIN-Vornorm, DVM-Prüfverfahren A 103) gewählt.

Bei der Festsetzung der von den Schneiden und Pfannen zu fordernden Mindesthärte war in erster Linie zu beachten, daß keine nennenswerte Verschärfung gegenüber der bisherigen Härteforderung eintrat. Es werden in Deutschland etwa 4 Millionen geeichte Waagen benutzt. Ein Auswechseln der Schneiden und Pfannen auch nur eines kleineren Teiles dieser Waagen wäre natürlich keinesfalls möglich gewesen. Gegen eine Erhöhung der zu fordernden Mindesthärte sprach außerdem, daß mit der Härte im allgemeinen auch die Sprödigkeit der Stähle wächst. Spröde Schneiden und Pfannen brechen leicht bei den im praktischen Betriebe auftretenden Belastungsstößen aus. Andererseits durfte mit der Härte auch nicht weiter als nötig heruntergegangen werden, weil die Beanspruchung der Schneiden und Pfannen in der Nähe ihrer Berührungsfläche außerordentlich groß ist. Zu weiche Schneiden werden leicht bei der Benutzung durch plastische Verformung abgeplattet, wodurch die Hebellängen verändert und die Empfindlichkeit und Beweglichkeit verringert werden. Nach Befragung der Waagenindustrie und nach eigenen Messungen an Waagenschneiden und -pfannen wurde als Mindesthärte $H_{vD} = 61$ Vorlasthärteeinheiten (VHE) festgesetzt. Den Waagenherstellern kann empfohlen werden, den Schneiden eine Härte von $H_{vD} = 61 \ldots 63$ VHE, dagegen den Pfannen und den Stoßkörpern[2]), die härter als die zugehörige Schneide sein sollen, eine Härte von $H_{vD} = 63 \ldots 65$ VHE zu geben. Diese Härten geben einer gut eingerichteten Herstellung noch genügend Spielraum, ohne daß die Schneiden und Pfannen bei den üblichen Werkstoffen bereits zu spröde werden.

Die käuflichen Vorlasthärtemeßgeräte kamen für die Prüfung bei der Eichung nicht in Frage; die Geräte sind zu schwer, als daß sie zu den Eichungen am Aufstellungsort hätten mitgenommen werden können. Außerdem wären sie zu teuer gewesen. Ferner ist es aber auch nur in wenigen Fällen möglich, die Härte einer Schneide oder Pfanne in einem Härtemeßgerät zu bestimmen, ohne daß beim Ausbau Waagenteile zerstört werden. Deshalb wurde auf die Härteprüfung mit der Feile zurückgegriffen. Der Eichbeamte feilt nacheinander mittels einer besonders harten Prüffeile auf den Flächen der zu prüfenden Schneide und auf den Flächen eines prismatischen Stahlstabes von quadratischem Querschnitt, dessen Härte gleich der geforderten Mindesthärte ist („Härteprüfstab"). Durch Untersuchung wurde festgestellt, daß es auch einem technisch wenig Geübten sehr bald möglich ist, Stähle mit den Härten $H_{vD} = 59, 61$ und 63 VHE durch Befeilen mittels der Prüffeile härtemäßig richtig zu ordnen.

Die Härteprüfstäbe haben etwa die Abmessungen $15 \times 15 \times 70$ (mm). Die 4 Längsflächen sind eben geschliffen. Form und Abmessung der Prüfstäbe wurden so gewählt, daß beim Feilen auf den Längsflächen etwa die gleichen Verhältnisse wie auf den Flächen der Schneiden und Pfannen vorliegen. Als Werkstoff wurde anfänglich ein unlegierter Kohlenstoffstahl mit ungefähr 1,1 Proz. *C*, später ein chromlegierter Kohlenstoffstahl der Zusammensetzung 1,0 Proz. *C* und 1,1 Proz. *Cr* gewählt. Stähle der gleichen Zusammensetzung werden auch für Waagenschneiden und -pfannen verwendet. Ein Unterschied der beiden Werkstoffe gegenüber der Feilenprüfung konnte nicht festgestellt werden. Die durch den 635. Zusatz zur Instruktion am 25. März 1937[1]) geänderten neuen Härtebestimmungen haben folgenden Wortlaut:

(Nr. 6a Abs. 2) „Die Schneiden sollen in der Nähe der Schneidenlinie eine Härte von mindestens 61 Einheiten der Diamantkegel-Vorlasthärteskala der DIN-Vornorm, DVM-Prüfverfahren A 103, haben ($H_{vD} \geqq 61$; die angegebenen Einheiten entsprechen der amerikanischen Rockwell-*C*-Skale). Die Schneide ist im Sinne dieser Bestimmung als genügend hart anzusehen, wenn die Härteprüffeile (eine besonders harte Prüffeile[2]) Hieb 2) auf den Winkelflächen der Schneide nicht stärker angreift als auf den Längsflächen des Härteprüfstabes. Die Härte des Härteprüfstabes liegt zwischen 60 und 61 Einheiten der angegebenen Härteskale."

(Statt der früheren Nr. 7c) „Die Stahlpfannen müssen mindestens so hart sein wie die zugehörigen Schneiden. Die Härteprüffeile darf also auch auf der Pfanne bei einer Prüfung gemäß

1) Prüfung mittels einer Diamantpyramide von quadratischem Querschnitt, DIN-Vornorm, DVM-Prüfverfahren A 133.

2) Stoßkörper (Stoßplatten, Stoßkappen, Stoßschrauben od. dgl.) sind Teile, mit denen eine Verschiebung der Schneiden in Richtung der Schneidenlinie verhindert wird.

1) Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, 14. Reihe, Nr. 2, S. 31.

2) „Die Dreikantprobierfeile Marke ‚Diamant' Hieb 2, Länge 125 mm, der Firma Friedrich Dick G. m. b. H. in Eßlingen a. N. ist als Prüffeile geeignet."

Nr. 6a Abs. 2 nicht stärker als auf dem Härteprüfstab angreifen."

Das neue Härteprüfverfahren machte zur Ausrüstung der Eichbeamten usw. rund 1000 Härteprüfstäbe erforderlich. Die Stäbe wurden von einer Werkzeugfabrik bezogen und im Neigungswaagenlaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, geprüft und mit dem eichamtlichen Beglaubigungszeichen versehen. Bei der Prüfung wurde mittels des unten behandelten Vorlasthärtemeßgerätes auf zwei beliebigen, aneinander grenzenden Längsflächen an mindestens je 4 oder 5 Punkten die Härte bestimmt. Ein Stab wurde nur dann abgenommen und beglaubigt, wenn der Mittelwert aller Messungen zwischen $H_{vD} = 60$ und 61 VHE und keine Einzelmessung unter 59 und über 62 VHE lag. Diese Werte wurden später, nachdem festgestellt worden war, daß die Stäbe nach etwa einem Jahre um 0,3 VHE weicher geworden waren, um 0,4 VHE heraufgesetzt (Grenzen für die mittlere Härte 60,4 und 61,4, Grenzen für die Einzelmessungen 59,4 und 62,4). Durchschnittlich mußte etwa die Hälfte aller angelieferten Härteprüfstäbe wegen Überschreitung der gesetzten Grenzen zurückgegeben werden.

Die Härtemessungen wurden mittels eines im Jahre 1934 von der Firma Louis Schopper, Leipzig, bezogenen Härteprüfgeräts durchgeführt. Die Fachuntergruppe Prüfmaschinen hat für die Zuverlässigkeit von Vorlasthärteprüfgeräten eine Toleranz von $\pm$ 2 VHE gesetzt; die Härte der vom Staatlichen Materialprüfungsamt in Berlin-Dahlem abgegebenen Härteprüfplatten wird mit einer Zuverlässigkeit von $\pm$ 1 VHE gewährleistet. Da diese Toleranzen für die Beglaubigung der Härteprüfstäbe zu groß erschienen, wurde der Härteprüfer, bevor er in Benutzung genommen wurde, gründlich auf seine Zuverlässigkeit hin untersucht. Über die Genauigkeit der Vorlasthärtemessung ist bisher wenig bekannt geworden; im folgenden zweiten Teil werden deshalb die Ergebnisse dieser Untersuchungen mitgeteilt.

II

Die Vorlasthärtemessung

Die Formel für die Vorlasthärte lautet:

$$H_{vD} = 100 - (t_{150} - t_{10}).$$

Es bedeuten t_{10} und t_{150} die Eindringtiefen des Diamantkegels unter Wirkung einer Druckkraft von 10 kg bzw. 150 kg. Damit keine elastischen Verformungen die Messungen fälschen, werden beide Eindringtiefen bei der gleichen Druckkraft von 10 kg am Druckstempel gemessen. H_{vD}, t_{10} und t_{150} werden in Vorlasthärteeinheiten (VHE) gemessen. 1 VHE entspricht 2 μ. Daß die Härte in H_{vD} unmittelbar abgelesen werden kann, wird auf folgende Weise erreicht:

Das Skalenblatt der Meßuhr ist drehbar ausgeführt; einem Zeigerumlauf entsprechen 100 Skalenteile zu je 2 μ. Die Skale ist nach μ bezeichnet. Außerdem ist jedoch eine zweite Bezeichnung nach VHE angebracht, die bei 0 μ mit 100 VHE beginnt und entgegengesetzt zur μ-Bezeichnung verläuft. Wird also nach Aufbringung der Druckkraft 10 kg der Teilstrich 0 μ = 100 VHE der drehbaren Skale mit dem Zeiger zur Deckung gebracht, so kann, nachdem die Druckkraft 150 kg aufgebracht und wieder entfernt worden ist, unter der Druckkraft 10 kg an der VHE-Einteilung unmittelbar H_{vD} abgelesen werden.

Die wichtigsten Bestimmungen der angegebenen DIN-Vornorm (DVM-Prüfverfahren A 103) sind:

Der zu verwendende Diamantkegel soll einen Spitzenwinkel von 120° haben und an der Spitze kugelig abgerundet sein. Der Radius der Abrundungskugel soll 200 μ betragen; Kugelfläche und Kegelfläche sollen stetig ineinander übergehen.

Die Druckkräfte sollen stoß- und schwingungsfrei aufgebracht werden; die Zusatzlast soll in etwa 10 Sekunden gleichmäßig steigend aufgebracht werden und so lange einwirken, bis der Zeiger des Meßgeräts praktisch zur Ruhe gekommen ist.

Die zu prüfende Fläche soll senkrecht zur Druckkraft liegen und mindestens geschlichtet sein. Das Prüfstück soll mindestens so dick sein, daß auf der Unterseite gegenüber dem Eindruck keine Druckstelle entsteht.

Das Vorlasthärtemeßgerät (Härteprüfer)

Der Aufbau des untersuchten Härteprüfers ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Das Prüfstück wird auf den Tisch T gelegt. Mittels der mit einem Handrad verbundenen Mutter H wird der Tisch gehoben, bis der Prüfling zwischen Tisch und Einspannvorrichtung E fest eingespannt ist. Durch Umlegen der Kurve K mittels des nach außen durchgeführten Handgriffes wird der Belastungshebel B freigegeben; infolge seines Eigengewichts und des kleinen Zusatzgewichts G' ruft er am Druckstempel St eine Druckkraft (Vorlast) von 10 kg hervor. Bei sperrigen Prüfstücken kann auch ohne die Einspannvorrichtung gearbeitet werden; in diesem Falle wird der Belastungshebel B von vornherein freigegeben und der Tisch mit dem Prüfstück so weit angehoben, bis der Zeiger der Meßuhr die

vorgeschriebene Ausgangsstellung erreicht hat. Die an der Meßuhr angegebene Ausgangsstellung bei der Vorlast ist 200 μ. Der Druckstempel *St* wird durch die Spiralfeder *F* dauernd gegen

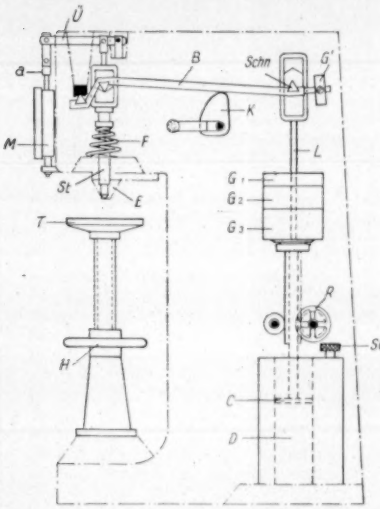

Abb. 1. Schematische Darstellung des Härteprüfers.

die Druckschneide des Belastungshebels gedrückt. Die Zusatzkraft von 140 kg wird aufgebracht, indem man den Kolben *C* der Dämpfungsvorrichtung *D*, der an seinem oberen Ende das Gehänge *L* mit den 3 Plattengewichten G_1, G_2, G_3 trägt, freigibt; unter der Wirkung der Schwerkraft bewegt sich der Kolben *C* solange abwärts, bis das Gehänge mit den Plattengewichten frei an der Belastungsschneide *Schn* des Belastungshebels hängt. Mittels der Stellschraube *Schr* der Dämpfungsvorrichtung kann die Sinkgeschwindigkeit des Kolbens verändert werden. Die Zusatzbelastung wird wieder entfernt, indem mittels des Handrades *R* über Ritzel und Zahnstange der Kolben wieder angehoben wird, bis das Gehänge wieder von seiner Schneide abgehoben ist. Die Bewegung des Druckstempels *St* wird durch den Übertragungshebel *Ü* auf die Meßuhr *M* übertragen, und zwar vergrößert im Verhältnis 1:5. Der Meßbolzen der Meßuhr bewegt sich bei einer Zeigerumdrehung also um 1 mm; da die Meßuhr für 10 Zeigerumläufe eingerichtet ist, ist der Meßbereich der Meßuhr (allein) also 10 mm. — Das Härtemeßgerät ist außer für Vorlasthärtemessungen auch noch für Vickers- und Brinell-Härtemessungen bestimmt. Durch Entfernen des Zusatzgewichts *G'* läßt sich die Vorlast von 10 auf 5 kg verringern; außerdem sind noch weitere Plattengewichte vorhanden, mit denen Druckkräfte von 10 ... 250 kg in feiner Abstufung erzeugt werden können.

Die Angaben des Härteprüfers hängen in erster Linie ab von der Richtigkeit der vorgeschriebenen Druckkräfte und der Meßuhrangaben sowie von der Form des Eindruckdiamanten. Außer diesen Größen wurde noch der Einfluß der Umkehrspanne, der elastischen Verformung, des Benutzungszustandes, der Belastungsgeschwindigkeit und der Belastungsdauer, der Schmierung der Prüffläche sowie von Erschütterungen u. dgl. untersucht.

Die Druckkräfte

Die am Druckstempel wirkenden Kräfte sind, um eine möglichst große Genauigkeit zu erreichen, mittels eines schwingenden Laufgewichtsbalkens unter Beobachtung der Umkehrpunkte bestimmt worden (Abb. 2). Der Härteprüfer wurde hängend von unten an den Wangen einer Justierbank für Laufgewichtsbalken so befestigt, daß eine auf den Prüftisch aufgelegte empfindliche Wasserwaage genau einspielte. In den Druckstempel wurde statt des Diamantkegels eine 10 mm-Stahlkugel eingesetzt. Diese drückte in eine kugelige Ansenkung einer in ein Gehänge eingeschraubten Schraube. Das Gehänge wirkte auf die Lastschneide des Laufgewichtsbalkens, dessen Stützpfannen über einen Lagerbock auf der Oberseite der Wangen der Justierbank ruhten. Am Laufgewichtsbalken war ein vor einer Skale spielender Zeiger angebracht. Durch Reguliergewichte ließ sich die Empfindlichkeit des Laufgewichtsbalkens verändern. Da sich herausstellte, daß die Meßuhr zu große Reibung verursachte, wurde die Meßuhr bei diesen Messungen an der Stelle *a* vom Übertragungshebel abgeschaltet. Der Laufgewichtsbalken wurde als Tarabelastung benutzt. Die Größe der Tarabelastung wurde anschließend nach Entfernung des Härteprüfers mittels einer an die Lastschneide gehängten Gewichtsschale und Gewichten bestimmt. In Abb. 3 ist für eine Reihe von Nenndruckkräften das Ergebnis dieser Messung aufgetragen, und zwar ist die Abweichung gegen die Nennkraft in Abhängigkeit von der Stellung der Schneide *Schn* vor einer senkrechten mm-Skale mit unten liegendem Nullpunkt angegeben. Um die Darstellung nicht zu verwirren, sind jedoch die einzelnen Beobachtungswerte nur für die Druckkräfte 10 und 150 kg eingezeichnet worden. Der mittlere Fehler eines eingetragenen Beobachtungswertes ist bei 10 kg etwa $\pm$ 5 g, bei 150 kg etwa $\pm$ 25 g.

Außer der Stellung des Belastungshebels ist in den beiden weiteren Abszissenmaßstäben die zugehörige Anzeige der Meßuhr bei einer bestimmten Anschaltung für 10 und 150 kg Druckkraft gezeigt. Aus dem Auseinanderfallen der beiden Maßstäbe kann man die Größe der elastischen Verformungen erkennen.

Wie sich aus Abb. 3 ergibt, hängt die Druckkraft in gewissen Grenzen von der Stellung des Belastungshebels ab. Eine Änderung der Lage der Prüffläche um 200 μ (eine Zeigerumdrehung an der Meßuhr) bedeutet für die Nennkraft 10 kg eine Veränderung um 25 g, für die Nennkraft 150 kg eine Veränderung um 285 g. Da die Meßuhr auf verschiedene Weise mit dem Belastungshebel verbunden werden kann, gibt Gleichheit der Anzeige an der Meßuhr nur dann Gewähr für eine gleichgebliebene Druckkraft, wenn feststeht, daß die Verbindung der Meßuhr mit dem Übertragungshebel inzwischen nicht verändert worden ist. Dagegen sichert die untere Fläche (Spannfläche) der Einspannvorrichtung E stets die gleiche Einstellung des Belastungshebels. — Durch das Eindringen des Druckstempels um 80 μ (Eindringtiefe bei einer Härte von $H_{vD} = 60$ VHE) ändert sich die vom Belastungshebel herrührende Druckkraft nur um 10 g, eine gegenüber der von der Meßuhr verursachten Streuung der Druckkraft zu vernachlässigende Größe.

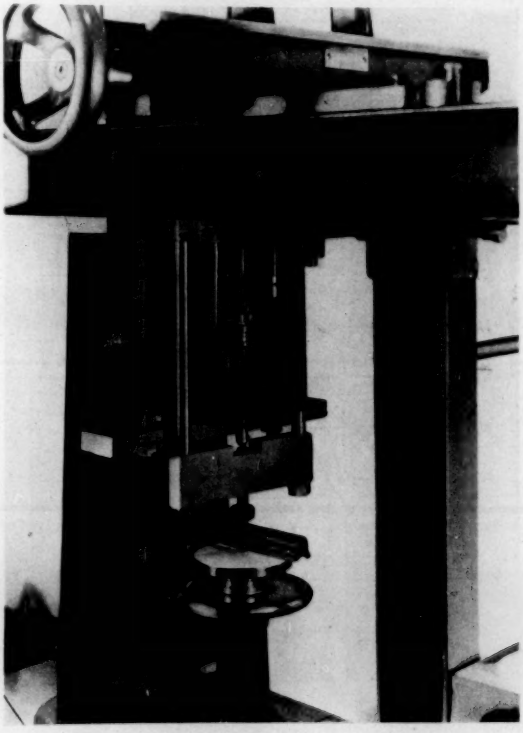

Abb. 2. Messung der Druckkraft des Härteprüfers.

Zur Ermittlung der durch die Meßuhr hervorgerufenen Druckkraft am Druckstempel wurde die vom Meßbolzen der Meßuhr ausgeübte Kraft mittels einer Neigungsschaltgewichtswaage zu 500 g Höchstlast (Neigungsbereich 100 g, Skaleneinteilung 0,5 g) bestimmt, und zwar getrennt für aufwärts- und abwärtsbewegten Meßbolzen. Die (ausgebaute) Meßuhr wurde bei diesen Messungen in einer Parallelführung mittels einer Schraube bei senkrecht stehendem Meßbolzen parallel zu sich selber aufwärts und abwärts bewegt. Die vom Meßbolzen ausgeübten Kräfte konnten unmittelbar am Zeiger der Waage abgelesen werden. In Abb. 4 ist außer den Mittelwerten aus je fünf Einzelbeobachtungen bei den Teilstrichen 0, 20, 40, ... 580, 600 μ auch eine Einzelbeobachtungsreihe dargestellt, die dazu diente, die Druckmaxima bei Aufwärtsbewegung des Meßbolzens und die Druckminima bei Abwärtsbewegung zu ermitteln. Der linke Ordinatenmaßstab bedeutet die an der Waage beobachteten Kräfte, der rechte Ordinatenmaßstab die durch den Übertragungshebel im Verhältnis 1:5 vergrößerten, am Druckstempel wirkenden Kräfte. Die Streuung der Einzelbeobachtungen für die Mittelwerte betrug „aufwärts" etwa $\pm$ 10 g (entsprechend $\pm$ 50 g am Druckstempel),

„abwärts" etwa ± 4 g (± 20 g am Druckstempel). Die Verbindungslinie der Mittelwerte „aufwärts" geht, auch verhältnismäßig, beträchtlich stärker auf und ab als die Verbindungslinie der Mittelwerte „abwärts". Das Entsprechende gilt für die Verbindungslinie der Maximalwerte im Vergleich zu der der Minimalwerte. Man darf wegen dieses Hin- und Hergehens zwischen 200 und 400 μ „aufwärts" rechnen mit einer Druckkraft von etwa 725 ± 100 g am Druckstempel und „abwärts" mit etwa 380 ± 25 g. Die durch die Meßuhr verursachte (ganze) Umkehrspanne der Druckkraft des Druckstempels beträgt also etwa 350 ± 100 g.

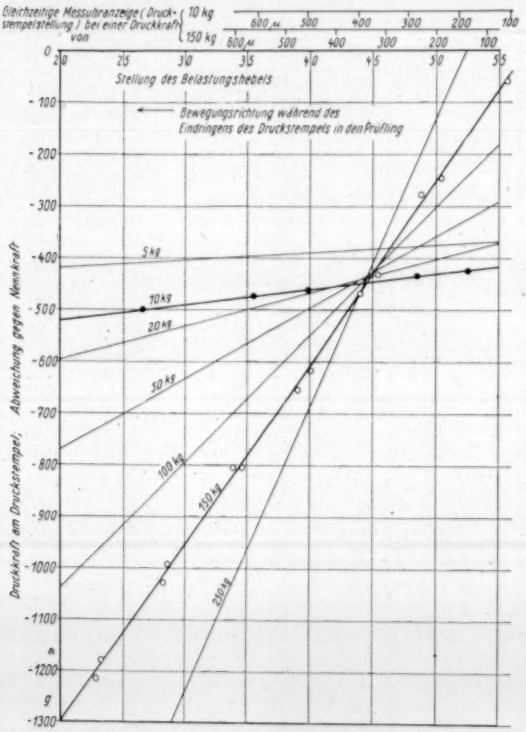

Abb. 3. Druckkraft des Härteprüfers bei ausgebauter Meßuhr in Abhängigkeit von der Stellung des Belastungshebels (senkrechten Bewegung der Schneide des Belastungsgehänges).

Aus den Abb. 3 und 4 ergeben sich bei der vorliegenden Verbindung der Meßuhr mit dem Übertragungshebel z. B. folgende Fehler:

Für 10 kg und 50 mm Stellung des Belastungshebels (240 μ Meßuhranzeige)

aufwärts:

$$\Delta P_{10\,\mathrm{auf}} = -430 + 725 = +300 \pm 400 \text{ g}$$

abwärts:

$$\Delta P_{10\,\mathrm{ab}} = -430 + 380 = -50 \pm 100 \text{ g}.$$

Für 150 kg und 45 mm Stellung des Belastungshebels (325 μ Meßuhranzeige) ergeben sich zufällig die gleichen Fehler,

aufwärts:

$$\Delta P_{150\,\mathrm{auf}} = +300 \pm 100 \text{ g},$$

abwärts:

$$\Delta P_{150\,\mathrm{ab}} = -50 \pm 100 \text{ g}.$$

Die angegebenen Fehler bedeuten, auf die jeweilige Sollkraft bezogen, verhältnismäßige Fehler von $+3$ Proz. bzw. $-0{,}5$ Proz. bzw. $+0{,}2$ Proz. bzw. $-0{,}03$ Proz. Mit Ausnahme des Fehlers $\Delta P_{10\,\mathrm{auf}} = +3$ Proz. bleiben die Fehler also innerhalb der in den „Richtlinien für die Überwachung von Werkstoffprüfmaschinen"[1]) für Härteprüfer festgesetzten Fehlergrenzen von ± 1 Proz. Bei Hebelstellungen zwischen 40 und 50 mm und abwärtsbewegtem Druckstempel sind die Fehler auch aller übrigen Druckkraftstufen kleiner als 1 Proz.

Um zu bestätigen, daß die Druckkräfte des Belastungshebels und der Meßuhr addiert werden müssen, um die tatsächlich am Druckstempel wirkende Kraft zu erhalten, wurde der Härteprüfer mit eingebauter Meßuhr auch mittels einer hängenden Neigungswaage zu 50 kg Höchstlast geprüft (eine hängende Waage mit größerer Höchstlast stand leider nicht zur Verfügung). Die Angaben dieser Waage wiesen eine mittlere

1) DIN 1694, 2. Ausgabe Mai 1938, Nr. 17.

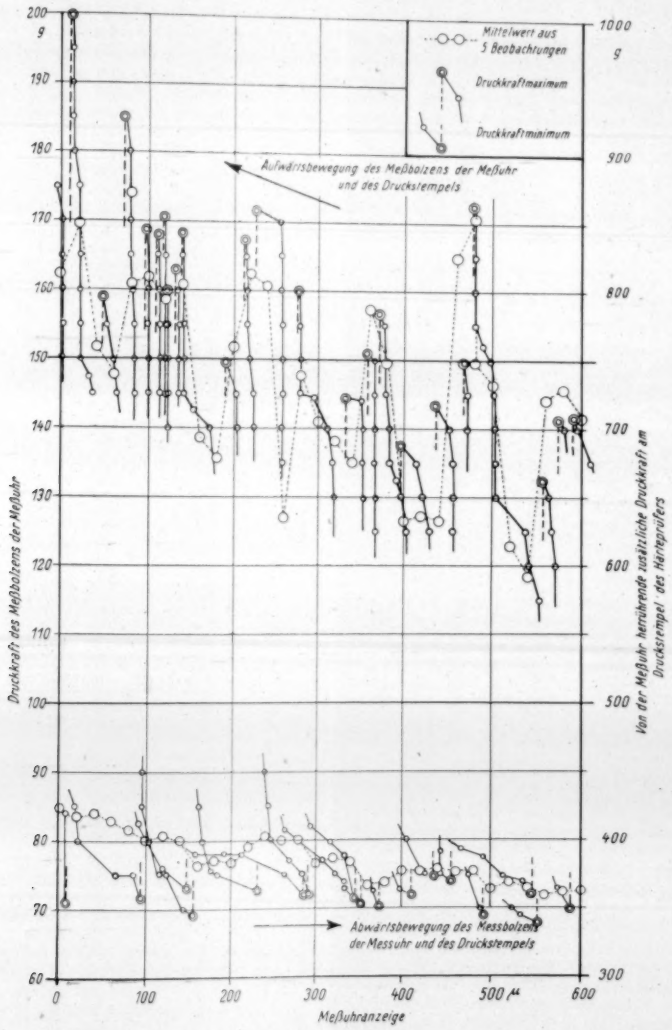

Abb. 4. Druckkraft der Meßuhr.

Streuung von etwa ± 50 g auf. Die für die Nennkräfte 5, 10, 20, 30, 40, und 50 kg festgestellten Druckkräfte waren um etwa 40 ... 80 g größer als die durch Addition aus den Abb. 3 und 4 erhaltenen. Die Umkehrspanne der Druckkräfte des Härteprüfers mit angeschalteter Meßuhr wurde auf die gleiche Weise bestimmt; aus je 10 Einzelbestimmungen ergeben sich dabei die folgenden Mittelwerte für die (ganze) Umkehrspanne:

Druckkraft	5	10	20	30	40	50 kg
Umkehrspanne	360	300	380	420	410	400 g

Die Streuung dieser Bestimmungen betrug etwa ± 70 g.

Auswirkung der Fehler der Druckkräfte auf die Härtemessung

Die beobachteten Eindringtiefen t_{10} und t_{150} sind mit Rücksicht auf die Abweichungen der Druckkräfte von den Sollwerten 10 kg und 150 kg um Δt_{10} und Δt_{150} zu verbessern.

$$\Delta t_{10} = \left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=10\text{ kg}} \cdot \Delta P_{10},$$

$$\Delta t_{150} = \left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=150\text{ kg}} \cdot \Delta P_{150}.$$

Zur Ermittlung der Ableitungen $\frac{dt}{dP}$ für $P = 10$ und 150 kg wurde die Eindringtiefe $t = f(P)$ – bleibende Eindringung nach Ausschaltung der durch elastische Verformung bedingten Wege – an drei verschieden harten unlegierten Kohlenstoffstählen bestimmt. Das Ergebnis ist in Abb. 5 dargestellt. Als Abszissenmaßstab ist freilich nicht P, sondern $\sqrt{P}$ gewählt, um den Einfluß der Abrundung der Spitze des Diamantkegels deutlicher hervortreten zu lassen.

Die beiden gesuchten, in Abb. 6 wiedergegebenen Funktionen

$$\left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=10\text{ kg}} = f(H_{vD})$$

und

$$\left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=150\text{ kg}} = f(H_{vD})$$

sind aus der Abb. 5 entwickelt worden.

Man entnimmt z. B. der Abb. 6, daß für eine Härte von $H_{vD} = 60$ VHE der Umrechnungsfaktor $\left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=10\text{ kg}}$ ungefähr gleich 0,7 und der Umrechnungsfaktor $\left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=150\text{ kg}}$ ungefähr gleich 0,4 ist. Damit Δt_{10} und Δt_{150} z. B. nicht größer als 0,2 μ = 0,1 VHE werden, darf ΔP_{10} also nicht größer als $\frac{2}{7}$ kg = 285 g und ΔP_{150} nicht größer als $\frac{1}{2}$ kg werden. Für ein Prüfstück der Härte $H_{vD} = 60$ VHE ergäbe sich bei normaler Benutzung des Härteprüfers (Senken des

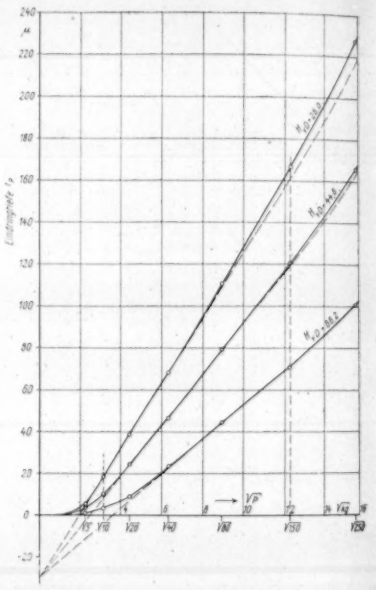

Abb. 5. Eindringtiefe des Druckstempels in Abhängigkeit von der Druckkraft P für drei Stähle verschiedener Härte.

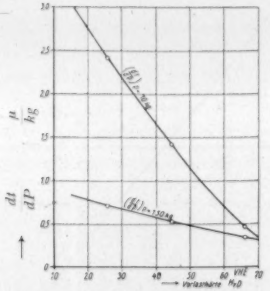

Abb. 6. Umrechnungsfaktoren $\left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=10\text{ kg}}$ und $\left(\frac{dt}{dP}\right)_{P=150\text{ kg}}$ in Abhängigkeit von der Vorlasthärte des Prüfstückes.

Druckstempels in den Prüfling hinein, d. h. Bewegungsrichtung „abwärts") eine Verbesserung $\Delta t_{10} = 0{,}7 \cdot \Delta P_{10\,ab} = -0{,}035\,\mu$, also ein vernachlässigbar kleiner Betrag. Wenn dagegen die Vorlast durch Anheben des Tisches aufgebracht wird, ist $\Delta t_{10} = 0{,}7 \cdot \Delta P_{10\,auf} = +0{,}21\,\mu$. Da die Eindringtiefe t_{10} um diesen Betrag zu groß angezeigt wird, wäre der erhaltene H_{vD}-Wert um $-0{,}1$ VHE zu verbessern. — Bei der Aufbringung der Zusatzlast bewegt sich der Druckstempel in allen Fällen abwärts. $\Delta t_{150} = 0{,}4 \cdot \Delta P_{150\,ab}$ ist vernachlässigbar klein. Der nach den Richtlinien für die Überwachung von Werkstoffprüfmaschinen noch zulässige Fehler der Druckkraft $P = 150$ kg (± 1 Proz) würde dagegen einen Fehler von $\Delta t_{150} = \pm 0{,}4 \cdot 1{,}5 = \pm 0{,}6\,\mu = \pm 0{,}3$ VHE bedeuten.

Wie die dargelegten Beobachtungen und die Erfahrungen des Waagenbaus lehren, könnte die Fehlergrenze für die Druckkraft $P = 150$ kg ohne Schwierigkeit von ± 1 Proz. auf $\pm 0{,}5$ Proz. herabgesetzt werden. Das würde z. B. bei $H_{vD} = 60$ VHE eine Verringerung des zulässigen Fehlers von $\pm 0{,}3$ auf $\pm 0{,}15$ VHE bedeuten.

Die Fehler der Meßuhrangaben

Die Fehler der Meßuhr wurden an der ausgebauten Meßuhr mit Hilfe eines Schraubenkomparators gegen ein genau bestimmtes Strichmaßnormal ermittelt. Bei diesen Messungen wurde die drehbare Skale so eingestellt, daß der Nullstrich genau oben stand. In einer besonderen Untersuchung war vorher festgestellt worden, daß die drehbare Skale innerhalb der Meßunsicherheit von $\pm 0{,}2\,\mu$ gleichmäßig geteilt war. Das Mittel aus vier Einzelbeobachtungen „abwärts" ist in Abb. 7 unter „Meßuhr allein" dargestellt. Hierfür gilt der linke Ordinatenmaßstab. Der rechte Ordinatenmaßstab berücksichtigt die Übersetzung 1:5 des Übertragungshebels, gilt also für die Bewegung des Druckstempels. Als Nullpunkt der Fehlerkurve ist der Teilstrich $200\,\mu$ der Meßuhr genommen. Der mittlere Fehler der eingetragenen Mittelwerte „Meßuhr allein" dürfte etwa $\pm 0{,}2\,\mu$ betragen (entsprechend $\pm 0{,}04\,\mu$ für den Druckstempel).

Die (ganze) Umkehrspanne der Meßuhr allein ist unten in Abb. 8 wiedergegeben (Mittelwert aus 2×4 Beobachtungen; mittlerer Fehler des Mittelwertes $\pm 0{,}3\,\mu$). Wie man sieht, ist die Umkehrspanne der Meßuhr allein sehr klein; sie beträgt im Extremfall $2\,\mu$, während der DIN-Entwurf[1]) für den Genauigkeitsgrad I $4\,\mu$ zulässt. Dagegen entspricht die größte Gesamtabweichung in der Fehlerkurve (unter Berücksichtigung der in der Abbildung nicht wiedergegebenen Fehler der Meßuhr für ihren ganzen Meßbereich von 10 mm) etwa nur der einer Meßuhr des Genauigkeitsgrades II; für diesen ist bei einem Meßbereich bis 10 mm im Grobbereich $25\,\mu$ zulässig.

Zum Vergleich wurden auch die Fehler der Meßuhr nach Einbau in den Härteprüfer bestimmt. Auf eine interferometrisch planparallele Quarzplatte wurden nebeneinander zwei genau bestimmte Endmaße angeschoben, deren Nennlängen sich jeweils um $100\,\mu$, $20\,\mu$, $10\,\mu$ bzw. $5\,\mu$ voneinander unterschieden. In den Druckstempel wurde statt des Diamanten eine 10-mm-Stahlkugel eingesetzt; der Meßdruck des Druckstempels wurde auf 5 kg ermäßigt. Nachdem die Oberfläche des Tisches sauber abgezogen und poliert worden war, wurde die Quarzplatte so auf den Tisch gelegt, daß die Stahlkugel des Druckstempels senkrecht über der Mitte des stärkeren Endmaßes stand. Dann wurde bei freigegebenem Belastungshebel der Tisch vorsichtig so weit angehoben, daß der Zeiger der Meßuhr beispielsweise bei der Bestimmung des Abschnittes 500 ... $600\,\mu$ ungefähr vor dem Teilstrich $500\,\mu$ stand. Darauf wurde der Druckstempel abgehoben und wieder aufgesetzt und anschließend die Zeigerstellung abgelesen. Nach dem Wiederabheben des Druckstempels wurde die Quarzplatte so verschoben, daß jetzt das (im Beispiel $100\,\mu$) schwächere Endmaß unter der Stahlkugel stand. Daraufhin wurde der Druckstempel bei unveränderter Tischstellung gesenkt und (in der Nähe von $600\,\mu$) nochmals am Zeiger abgelesen. Die Abweichung der Differenz der Zeigerablesungen von der Längendifferenz der Endmaße ergab dann den Fehler des betreffenden Meßuhrabschnittes. Nach Festlegung der Punkte 0, 100, 200 ... $600\,\mu$ wurden mittels der Endmaßdifferenz $20\,\mu$ die Punkte 0, 20, 40 ... 580, $600\,\mu$ bestimmt und zwischen jene gelegt. An einigen Stellen wurden außerdem auch noch mittels der Endmaßdifferenzen 10 und $5\,\mu$ weitere Zwischenpunkte eingeschoben. In Abb. 7 sind die auf diese Weise erhaltenen Fehlerkurven (Mittel aus je 2 ... 4 Beobachtungen) für 2 verschiedene Meßuhranschaltungen dargestellt. Die Stellungen des Druckstempels unterschieden sich bei den beiden Anschaltungen bei gleichen Meßuhrangaben um $200\,\mu$ voneinander; die Anschaltung II entspricht den Abszissenmaßstäben der Abb. 3. Die Fehlerkurven wurden wieder so gelegt, daß der Fehler bei der Meßuhranzeige $200\,\mu$ Null betrug. Der mittlere Fehler der Bestimmungen dürfte nicht größer als etwa $\pm 0{,}2\,\mu$ sein.

[1]) DIN E 878, DIN-Mitteilungen 21, S. N 61/62, 1938. — Im DIN-Entwurf wird unter „Umkehrspanne" noch der halbe Unterschied der Angaben für heraus- und hineingehende Tastbolzen verstanden.

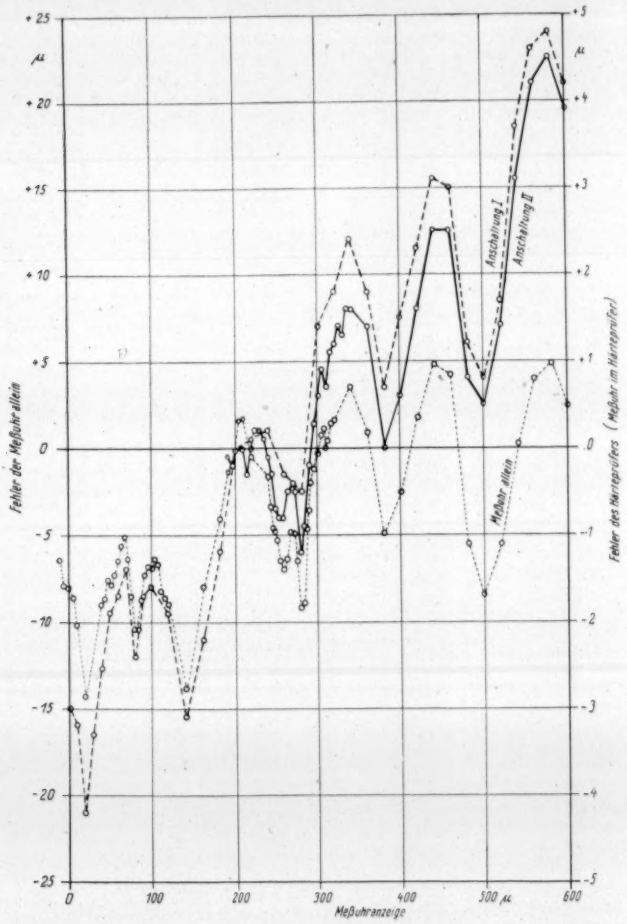

Abb. 7. Fehler der Meßuhr und des Härteprüfers bei Abwärtsbewegung des Meßbolzens bzw. des Druckstempels.

Die Extremwerte der 3 Fehlerkurven in Abb. 7 gehören zu den gleichen Abszissenwerten, soweit an der betreffenden Stelle überhaupt Beobachtungen angestellt wurden. Jedoch laufen alle 3 Fehlerkurven auseinander. Das ist zum Teil dadurch zu erklären, daß das Übersetzungsverhältnis des Übertragungshebels $\ddot{U}$ etwas vom Sollwert 1:5 abweicht. Bei größeren Druckstempelwegen macht sich aber auch bereits bemerkbar, daß der Druckstempel bei einer Hebelbewegung gedreht wird. Aus der Bestimmung geht heryor, daß man bei der praktischen Anwendung sich die Arbeit der Fehlerbestimmung dadurch erleichtern kann, daß man die Fehler der Meßuhr für sich allein außerhalb der Meßuhr bestimmt und nur die in Frage kommenden

Hauptpunkte, beispielsweise etwa die Punkte 100 μ, 200 μ, 300 μ und 400 μ, mittels Endmaßen unmittelbar im Härteprüfer festlegt und die Fehler der Zwischenpunkte entsprechend der vorangegangenen Bestimmung gleichmäßig aufteilt. Spätere Nachprüfungen werden im allgemeinen gleichfalls auf die genannten Punkte beschränkt werden können.

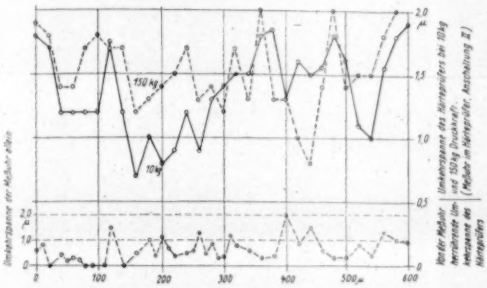

Abb. 8. Umkehrspanne der Meßuhr und des Härteprüfers.

Bei Reihenprüfungen gleichartiger Prüfstücke, z. B. der oben genannten Härteprüfstäbe, wird der Fehler der Meßuhr dadurch berücksichtigt, daß möglichst stets von derselben Stelle der Meßuhr ausgegangen wird (200 μ) und das Mittel der zu den in Frage kommenden Zeigerstellungen gehörenden Fehler angebracht wird. Bei der Anschaltung II wurden z. B. für Härten zwischen $H_{vD}=62$ und 59 VHE mit Rücksicht auf den in Abb. 7 dargestellten Verlauf der Fehlerkurve die abgelesenen Härten um 0,4 VHE erhöht. Bei Messungen größter Genauigkeit wird mit feststehender Skale gearbeitet und sowohl der Fehler nach Aufbringung der Vorlast als auch bei der zweiten Ablesung einzeln ermittelt.

Zur Steigerung der Genauigkeit der Härteprüfung wird vorgeschlagen, in der DIN-Vornorm, DVM-Prüfverfahren A 103 vorzuschreiben, daß der Fehler der Eindringtiefenmessung innerhalb eines an der Meßuhr gekennzeichneten Meßbereichs von 200 μ Umfang (entsprechend einer Zeigerumdrehung) nicht größer als $\pm 0{,}6\,\mu = \pm 0{,}3$ VHE ist. Mit der Übersetzung 1:5 zur Meßuhr würde diesem Fehler an der Meßuhr für den gekennzeichneten Bereich von 1 mm Meßweg ein zulässiger Fehler von $\pm 3\,\mu$ entsprechen. Daß diese Forderung zu verwirklichen ist, zeigen die Untersuchungen von E. Batz und der DIN-Entwurf E 878 (Meßuhren)[1].

1) Werkstattstechnik u. Werksleiter 32, 287 bis 295, 1938; Feinmechanik u. Präzision 46, 187–192, 215–220, 1938; DIN E 878, a. a. O.

Die Umkehrspanne des Härteprüfers

In Abb. 8 oben sind außerdem noch die Umkehrspannen des Härteprüfers mit angeschalteter Meßuhr bei den Druckkräften 10 und 150 kg dargestellt. Die eingetragenen Werte sind Mittelwerte aus je 3 Beobachtungen; die Bestimmung ist auf etwa $\pm 0{,}3\,\mu$ zuverlässig. Wie sich aus dem Vergleich mit der Umkehrspanne der Meßuhr allein ergibt, beträgt diese durchschnittlich nicht mehr als etwa $^1/_{10}$ der Umkehrspanne des Härteprüfers.

Während die Umkehrspanne bei 150 kg Druckkraft praktisch von keiner großen Bedeutung ist, geht die Umkehrspanne bei 10 kg in voller Größe als Fehler ein, wenn der Druckstempel vor den beiden Ablesungen einer Härtebestimmung in entgegengesetzter Richtung bewegt worden ist. Wie aus der eingangs gegebenen Beschreibung des Härteprüfers (in Anlehnung an die Gebrauchsanweisung der Herstellerfirma) hervorgeht, würde dieser Fehler bei der vorgesehenen und in der Werkstatt üblichen Benutzung auftreten. Bei der Benutzung des Härteprüfers im Laboratorium für Neigungswaagen wird der Fehler der Umkehrspanne in einfacher Weise dadurch ausgeschaltet, daß der Belastungshebel bei jeder Messung nach Entfernung der Zusatzlast mittels der Kurve K erst einmal angehoben wird, bevor die Meßuhr abgelesen wird.

Die elastischen Verformungen des Härteprüfers

Um festzustellen, ob die verhältnismäßig große Umkehrspanne des Härteprüfers durch die Umkehrspanne der Druckkräfte bedingt ist, wurde die durch rein elastische Verformung des Härteprüfers verursachte Zeigerbewegung in Abhängigkeit von der Druckkraft ermittelt. Hierzu wurde ein Druckstempeleinsatz verwendet, der senkrecht zur Richtung der Druckkraft (also parallel zur Tischoberfläche) durch eine kreisrunde Ebene von ungefähr 50 mm Durchmesser begrenzt war. Bleibende Verformungen konnten, wenn der Druckstempel mit diesem Einsatz unmittelbar auf die Tischoberfläche wirkte, nicht eintreten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abb. 9 dargestellt. Zur Kurve I gehört bei einer Druckkraft von 10 kg eine Meßuhranzeige von 10 μ, zur Kurve II eine solche von 110 μ. Man entnimmt der Darstellung, daß bei einer Druckkraft von 10 kg einer

Kraftänderung von 1 kg eine durch elastische Verformung bewirkte Druckstempelbewegung von etwa 0,5 μ entspricht. Die Umkehrspanne der Kraft in Höhe von 350 g verursacht also eine

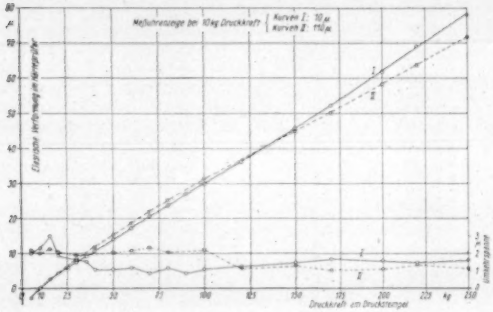

Abb. 9. Elastische Verformung und Umkehrspanne des Härteprüfers in Abhängigkeit von der Druckkraft am Druckstempel.

Druckstempelbewegung von weniger als 0,2 μ, während die tatsächlich beobachtete Umkehrspanne etwa 1,5 μ beträgt. Es ist deshalb wohl anzunehmen, daß in den Drehgelenken der beiden Hebel H und $\ddot{U}$ bei Umkehr der Bewegungsrichtung Verlagerungen eintreten, die sich als Änderung des Übersetzungsverhältnisses zwischen Druckstempel- und Meßbolzenbewegung äußern. Sowohl aus Abb. 9 als auch aus einer weiteren Untersuchung, die in Abb. 10

Abb. 10. Elastische Verformung im Härteprüfer bei einer Druckkraftzunahme von 10 kg auf 150 kg in Abhängigkeit von der Hebelstellung.

dargestellt ist, geht hervor, daß die elastische Verformung sich mit der Stellung des Belastungshebels bzw. der Anzeige der Meßuhr ändert.

Die Form des Eindruckdiamanten

Der Eindruckdiamant wurde mittels eines Werkstattmeßmikroskops ausgemessen. Der Querschnitt des Kegels erwies sich dabei als nicht genau kreisförmig, sondern als schwach elliptisch. Der größte gemessene Öffnungswinkel betrug 119° 44′, der kleinste Öffnungswinkel 119° 56′, das Mittel aus beiden also 119° 50′ (mittlerer Fehler ± 3′). Diese Abweichung vom Sollwert 120° kann, jedenfalls im Vergleich zu einem großen Teil der zu Vorlasthärtemessungen verwendeten Eindruckdiamanten, als so geringfügig angesprochen werden, daß ihretwegen keine Verbesserung angebracht zu werden braucht[1]).

Die vorgeschriebene kugelige Spitzenabrundung mit einem Radius von 200 μ bedingt geometrisch eine Verkürzung des Kegels in der Achsenrichtung um 31 μ. Gemessen wurde eine Verkürzung von 30 ± 0,5 μ. Der Krümmungsradius der Abrundung wurde dagegen zu 235 ± 20 μ ermittelt, d. h. also Kugelfläche und Kegelfläche gehen nicht stetig ineinander über. Da auch diese Abweichung von der DIN-Vornorm gering gegenüber der anderer untersuchter Eindruckdiamanten war, wurde sie ebenfalls nicht weiter berücksichtigt.

Daß übrigens auch für abgerundete Kegel bei großer Eindringung das Kicksche Ähnlichkeitsgesetz mit leidlicher Annäherung gilt, ist aus Abb. 5 zu ersehen. Die durch den Punkt (0, −30 μ) – Spitze der Kegelfläche – gelegten gestrichelten Geraden weichen in ihrem oberen Teil nur wenig von den durch die Beobachtungspunkte gelegten Kurven ab.

Daraus, daß die festgestellten kleinen Abweichungen von der vorgeschriebenen Form des Eindruckdiamanten unbeachtet bleiben konnten, darf nicht geschlossen werden, daß ausgesprochene Unregelmäßigkeiten oder Verletzungen keinen Einfluß auf die Härteangaben haben. So konnte an 2 verschiedenen Eindruckdiamanten mit je einem kleinen Ausbruch in der Nähe der Spitze, dessen Oberfläche nicht größer als die kugelige Abrundungsfläche war, eine Änderung der Härteangaben um 2 . . . 3 VHE beobachtet werden.

1) Die Untersuchungen von W. Kuntze und G. Sachs, Eindruckvorgänge in Metallen, Mitteilungen der deutschen Materialprüfungsanstalten, Sonderheft XVI, S. 96–127, Berlin 1931, lassen vermuten, daß die Änderung des Spitzenwinkels eines eindringenden Kegels in der Gegend von 120° auch bei Stahl keinen großen Einfluß auf die Eindringtiefe haben. — Der Verfasser hat mehrfach Diamanten zu Gesicht bekommen, die schon bei bloßer Betrachtung unter dem Mikroskop eine Abweichung vom kreisförmigen Querschnitt erkennen ließen. Auch mit diesen Diamanten wurden noch hinreichend genaue Härteangaben erhalten.

Der Benutzungszustand

Die vom Härteprüfer angegebenen Härten waren niedriger, wenn das Gerät nach einer kürzeren oder längeren Ruhepause neu benutzt wurde. Aus ungefähr 10 Beobachtungsreihen ergab sich, daß die Härte $H_{vD} = 66{,}2$ VHE eines Prüfstückes nach einer 1 . . . 2tägigen Ruhepause beim

1.	2.	3.	4.	5.	Eindruck
um etwa 0,6	0,4	0,2	0,1	0,0	VHE

zu klein angegeben wird. Diese Erscheinung ist wahrscheinlich auf eine Veränderung der Schmierschichten in der Meßuhr und in den Drehgelenken zurückzuführen. Ein gewisser Einfluß scheint bereits nach kürzeren Arbeitspausen von etwa einer halben Stunde an vorzuliegen. Bei den Prüfungen im Neigungswaagenlaboratorium ist deshalb zur Regel gemacht worden, daß nach längeren Pausen frühestens der 6. Eindruck des Härteprüfers für verantwortliche Messungen herangezogen werden darf. Kürzere Arbeitspausen werden nach Möglichkeit vermieden.

Geschwindigkeit und Dauer der Belastung

Von verhältnismäßig geringem Einfluß auf die Härteangaben ist die Geschwindigkeit, mit der die Zusatzlast aufgebracht wird, wie sich aus den nachfolgend wiedergegebenen Messungen zweier Härteprüfstäbe zu $H_{vD} = 26{,}0$ bzw. 66,2 VHE ergibt. Mittels der Einstellschraube *Schr* der Dämpfungsvorrichtung wurde die Zeit, während der die Zusatzbelastung gleichmäßig aufgebracht wird, nacheinander auf 2, 5, 10 und 20 Sekunden eingestellt. Die volle Druckkraft wirkte anschließend in allen Fällen noch 20 Sekunden. Jede Angabe ist das Mittel aus 6 Einzelmessungen.

	Zusatzbelastung aufgebracht in			
	2 sec	5 sec	10 sec	20 sec
Stab I....	26,2	26,2	26,0	26,0
Stab III..	65,9	66,1	66,2	66,5

Wenn überhaupt innerhalb der angegebenen Geschwindigkeitsgrenzen ein Einfluß vorhanden ist, ist er jedenfalls genügend ausgeschaltet, wenn man für die Zeit, innerhalb der die Druckkraft allmählich ansteigt, 10 ± 2 sec ansetzt. Diese Toleranz von ± 2 sec läßt sich auch bei längerem Betrieb ohne besondere Vorkehrungen einhalten. Die Einstellung der Dämpfungsvorrichtung muß jedoch geändert werden, wenn beträchtlich härtere oder beträchtlich weichere Prüfstücke gemessen werden sollen.

Der Einfluß der Einwirkungsdauer der konstanten maximalen Druckkraft wurde an 3 verschieden harten Prüfstücken untersucht. Die Ergebnisse sind in der Abb. 11 dargestellt. Die

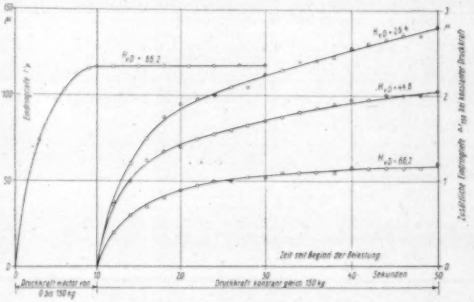

Abb. 11. An der Meßuhr angezeigte Eindringtiefe während des Belastungsvorganges in Abhängigkeit von der Zeit.

linke Kurve, für die der linke Ordinatenmaßstab gilt, gibt eine Vorstellung über den Eindringvorgang; in der aufgetragenen Eindringtiefe t_p ist freilich noch die elastische Verformung des Härteprüfers enthalten. Die drei rechten Kurven, die auf den rechten Ordinatenmaßstab zu beziehen sind, stellen dar, um wieviel der Druckstempel nach Erreichen der maximalen Druckkraft von 150 kg unter der Wirkung dieser Druckkraft noch nachsinkt. Man sieht, daß der Eindruckstempel einen sehr großen Teil seines Weges bereits nach 10 sec zurückgelegt hat, daß er aber auch bei harten Stählen nach 40 sec (50 sec nach Belastungsbeginn) noch nicht völlig zur Ruhe gekommen ist. Um die Härteprüfung einerseits nicht zu lange dauern zu lassen und andererseits die Handhabung möglichst zu vereinheitlichen, dürfte es sich empfehlen, für die Einwirkzeit der konstanten Druckkraft von 150 kg 10 . . . 15 sec vorzuschreiben.

Schmierung der Oberflächen

Wie sich aus den nachstehenden Beobachtungen an 3 verschieden harten Prüfstücken ergibt, ist die Schmierung der Oberflächen des Prüfstückes bzw. des Eindruckdiamanten nur

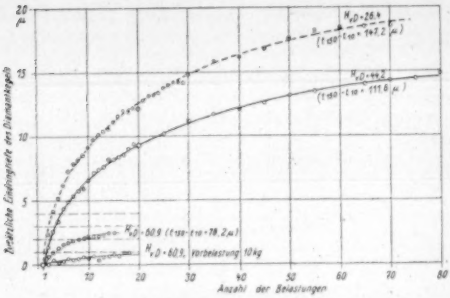

Abb. 12. Einfluß der Reibung auf die Eindringtiefe des Diamantkegels (zusätzliche Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Anzahl der Belastungen).

von geringem Einfluß auf die Härteangabe (jede in der Tafel angegebene Zahl ist das Mittel aus 6 Einzelbeobachtungen).

	Schmierung der Oberflächen			
	trocken (entfettet)	Vaseline	Knochenöl	Maschinenöl
Stab I....	26,0	—	—	26,0
Stab II...	44,4	—	—	44,9
Stab III..	66,3	66,2	66,2	66,2

Man darf aus diesen Zahlen freilich nicht schließen, daß beim Eindringen des Diamanten keine Reibung zwischen dem Diamanten und dem Prüfstück wirkt. Hebt man nämlich nach einer Härtemessung den Diamanten aus dem Eindruck und wiederholt die Messung, ohne daß das Prüfstück ausgespannt wird, am selben Eindruck, so beobachtet man eine ganz beträchtliche zusätzliche Eindringung des Diamanten. Nach häufigen Wiederholungen verringert sich die zusätzliche Eindringung und hört schließlich ganz auf (vgl. Abb. 12). Ein Teil der Druckkraft in der Größenordnung von 10 kg wird also von Reibungskräften aufgenommen.

Stöße beim Aufbringen der Belastung, Erschütterungen

Wie nicht anders zu erwarten, erwies sich der Härteprüfer als empfindlich gegen Stöße beim Aufbringen der Belastung und gegen Erschütterungen. Durch schnelleres Umlegen der Kurve K vergrößerten sich z. B. die Härteangaben bei der Prüfung eines Prüfstückes der Härte H_vD = 60 VHE um 0,6 ... 1,7 VHE, im Mittel etwa um 0,8 VHE. Es empfiehlt sich deshalb, die Vorlast vorsichtig aufzubringen. Hinreichende Gleichmäßigkeit kann dadurch erzielt werden, daß man während des Umlegens der Kurve K gleichzeitig den Meßuhrzeiger beobachtet und dabei darauf achtet, daß die Zeigerbewegung nicht schneller wird, als daß sie mit den Augen verfolgt werden kann. An Härteprüfern, bei denen die Vorlast durch Hochbewegen des Tisches aufgebracht wird, wird sich dagegen in der Regel ein gewisser Stoß nicht vermeiden lassen.

Die Angaben des Härteprüfers sind ungefähr im gleichen Maße von Erschütterungen abhängig. Man muß deshalb für eine gute, erschütterungsfreie Aufstellung Sorge tragen. Das gilt besonders für leichte Geräte und für Geräte, bei denen während der Messung durch das Einspringen von gefederten Sperren in Rasten Erschütterungen entstehen.

Ferner ist zu beachten, daß das Gehänge mit den Belastungsgewichten für die Zusatzbelastung nicht beim Loslösen von dem ihn tragenden, mit dem Dämpfungskolben verbundenen Tisch in Schwingungen gerät. Voraussetzung dafür ist, daß die Unterfläche des frei hängenden Gehänges parallel zur Tischoberfläche steht.

Streuung der Härtemessung

Da eine Härtemessung einen bleibenden Eindruck auf dem Prüfling hinterläßt, läßt sich eine Messung nicht an derselben Stelle, sondern nur in der Nähe einer bereits geprüften Stelle wiederholen. Die Härte der Prüfstücke ändert sich jedoch im allgemeinen von Ort zu Ort. Die bei wiederholten Messungen auftretende Streuung ist deshalb im allgemeinen nicht nur auf das Härtemeßverfahren, sondern auch auf das Prüfstück zurückzuführen. Einen Überblick über den durch Streuung verursachten mittleren Fehler der Härtemessung allein bekommt man jedoch, wenn man bei unveränderter Tischstellung statt des Eindruckdiamanten einen Druckstempel mit vergrößerter Druckfläche, der nicht in die Unterlage eindringt, wiederholt gegen den Tisch mit 10 kg belastet und die zugehörigen Meßuhrangaben feststellt. Unter Verwendung des oben beschriebenen ebenen Druckstempeleinsatzes wurde auf diese Weise aus 35 Beobachtungen eine Streuung (quadratisches Streuungsmaß) der Einzelbeobachtung von $\pm 0{,}36\,\mu = \pm 0{,}18$ VHE erhalten. Berücksichtigt man ferner, daß die elastische Verformung infolge der Veränderung der Hebelstellung von einer Messung zur anderen mit einer Streuung von etwa $\pm 0{,}1\,\mu$ behaftet ist (vgl. Abb. 10), so wird man für den mittleren

Fehler s_m einer Härtemessung infolge von Streuung der Angaben des Härteprüfers ansetzen können:

$$s_m = \pm \sqrt{2 \cdot (0{,}36)^2 + (0{,}1)^2}\,\mu$$
$$= \pm 0{,}52\,\mu = \pm 0{,}26 \text{ VHE}.$$

Dabei ist natürlich vorausgesetzt, daß die Fehler der Meßuhr bereits berücksichtigt und auch alle übrigen aufgeführten Vorsichtsmaßregeln angewendet worden sind.

Vergleichsmessungen mittels anderer Härteprüfer

Zum Vergleich wurden 2 Härteprüfplatten, wie sie von den Herstellern der Härteprüfer zur Überwachung der Geräte mitgeliefert werden, sowie 2 Härteprüfstäbe (Abmessungen 15 × 15 × 70 [mm]) mittels einiger in anderen Laboratorien der Reichsanstalt aufgestellten Härteprüfer in der üblichen Weise gemessen. Das Ergebnis dieser Messungen ist in der folgenden Tafel zusammengestellt (Angaben in VHE). Auf jedem der 4 Prüfstücke wurde mittels jedes Härteprüfers an ungefähr 8 gleichmäßig verteilten Punkten die Härte gemessen, und zwar bei den Geräten 1, 4 und 5 sowohl entsprechend der Gebrauchsanweisung mit gegenläufig bewegtem Druckstempel, also einschließlich des Fehlers der Umkehrspanne, als auch mit gleichläufig bewegtem Druckstempel (Fehler der Umkehrspanne vermieden). Die letzte der 3 untereinander stehenden Zahlen ist die aus den Beobachtungen jeweils errechnete Streuung der Messungen (abgerundet auf 0,05 VHE).

Härteprüfer Nr.	Lieferjahr	Höchstlast in kg	Mit/ohne Einspannvorrichtung	Aufbringen der Vorlast durch	Schalteinrichtung mit/ohne Rasten	Prüfplatte 1 Härte angeblich $H_{vD}=65\cdots66$ VHE	Prüfplatte 2 Härte angeblich $H_{vD}=66$ VHE	Prüfstab 1	Prüfstab 2	Umkehrspanne
1	1934	250	mit	Senken des Belastungshebels	ohne	(65,6) **66,2** ± 0,35	(64,7) **65,2** ± 0,45	(58,4) **59,0** ± 0,20	(58,7) **59,3** ± 0,55	0,6
2	1929	187,5	ohne	Heben des Tisches	ohne	— 66,1 ± 0,25	— 65,1 ± 0,35	— 59,1 ± 0,15	— 59,2 ± 0,30	(1,8)
3	1938	250	mit	Heben des Tisches	ohne	— 66,1 ± 0,25	— 64,8 ± 0,45	— 59,0 ± 0,25	— 59,4 ± 0,30	(1,1)
4	1937	250	mit	Senken des Belastungshebels	mit	65,2 66,3 ± 0,05	64,6 65,7 ± 0,00	57,9 59,2 ± 0,00	58,2 59,4 ± 0,70	1,2
5	1938	3000	mit	Senken des Belastungshebels	mit	65,0 66,2 ± 0,25	64,4 65,7 ± 0,40	57,9 59,3 ± 0,25	57,9 59,3 ± 0,70	1,3

Die Messungen mittels des untersuchten Härteprüfers des Neigungswaagenlaboratoriums (Nr. 1) sind mit größtmöglicher Genauigkeit ausgeführt worden. Die festgestellten Härten sind in der zweiten Zeile mit Fettdruck wiedergegeben. Die über diesen Härten in Klammern stehenden Zahlen sind, im Gegensatz zu den entsprechenden Zahlen der Härteprüfer 4 und 5, bereits auf die Meßuhrfehler hin verbessert. In der letzten Spalte ist die bei den Messungen beobachtete mittlere Umkehrspanne angegeben. Bei den Geräten 2 und 3 (eingeklammerte Zahlen) wurde die Umkehrspanne durch Anheben des Belastungshebels mit der Hand ermittelt.

An den Messungen überrascht die gute Übereinstimmung der ohne Änderung der Bewegungsrichtung des Druckstempels erhaltenen Härteangaben (Fehler der Umkehrspanne vermieden). Die größte Abweichung, die an 2 Stellen erreicht worden ist, beträgt 0,5 VHE. Das Ergebnis ist um so bemerkenswerter, als die Messungen mittels der Härteprüfer 3, 4 und 5 mit den zu den Geräten gehörigen Eindruckdiamanten ausgeführt wurden und die Meßuhr- und Druckkraftfehler der Härteprüfer 2 ... 5 in die Messung mit eingegangen sind. Die Ursachen für die gute Übereinstimmung ist wahrscheinlich darin zu suchen, daß diese Fehler sich zum Teil bei der Mittelbildung aufgehoben haben.

Aus der letzten Spalte der Tafel erkennt man daß die Umkehrspanne des Härteprüfers 1 (rund 0,6 VHE) noch verhältnismäßig klein ist. Man muß wohl damit rechnen, daß Härteprüfer, bei denen die Bewegungsrichtung des Druckstempels vor den Ablesungen gegenläufig ist, im Durchschnitt einen um 1,2 VHE zu niedrigen Wert ergeben. Wegen der Größe dieses Fehlers scheint es mir geboten, die DIN-Vornorm durch einen Hinweis zu ergänzen, daß die Bewegungsrichtung vor beiden Ablesungen die gleiche sein muß.

An den Streuungen erkennt man, daß einerseits die Gleichmäßigkeit der Härte der Prüfstücke, andererseits aber auch die Veränderlichkeit der Härteprüfer verschieden ist. So erkennt man ohne weiteres, daß die Härte des Prüfstabes 1 am gleichmäßigsten und die Veränderlichkeit des Härteprüfers 2 am kleinsten ist. Die beobachteten Streuungen lassen sich größenordnungsmäßig durch etwa folgende Streuungen der Angaben der Härteprüfer und der Härte der Prüfstücke erklären (Angaben in VHE).

Streuungen s_m der Härteangaben der Härteprüfer

Härteprüfer Nr.	1	2	3	4	5
s_m	$\pm$ 0,25	$\pm$ 0,10	$\pm$ 0,20	$\pm$ 0,60	$\pm$ 0,25

Härtestreuungen s_p der Prüfstücke

Prüfstück:	Platte 1	Platte 2	Stab 1	Stab 2
s_p	$\pm$ 0,20	$\pm$ 0,35	$\pm$ 0,10	$\pm$ 0,35

Aus diesen Streuungen s_m und s_p ergibt sich nämlich folgende Tafel der Gesamtstreuung s (berechnet nach der Formel $s = \sqrt{s_m^2 + s_p^2}$, auf 0,05 VHE abgerundet):

	Härteprüfer 1	2	3	4	5
Platte 1 ...	$\pm$ 0,30	$\pm$ 0,20	$\pm$ 0,30	$\pm$ 0,65	$\pm$ 0,30
Platte 2 ...	$\pm$ 0,45	$\pm$ 0,35	$\pm$ 0,40	$\pm$ 0,70	$\pm$ 0,45
Stab 1	$\pm$ 0,25	$\pm$ 0,15	$\pm$ 0,20	$\pm$ 0,60	$\pm$ 0,25
Stab 2 ...	$\pm$ 0,45	$\pm$ 0,35	$\pm$ 0,40	$\pm$ 0,70	$\pm$ 0,45

Die Übereinstimmung der Streuungen s dieser Tafel mit den aus den Beobachtungen unmittelbar entnommenen Streuungen ist in Anbetraeht der verhältnismäßig geringen Anzahl der Einzelmessungen als befriedigend anzusehen.

Die große Streuung des Härteprüfers 4 ($s_m = \pm$ 0,60 VHE) hängt vielleicht damit zusammen, daß bei seiner Bedienung ein durch Federung gespannter Riegel mit einem gewissen Stoß in die Rasten des Schaltrades einfällt, ein Mangel, der sich durch Veränderung der Rastenform und Verringerung der Federspannung ohne große Mühe beseitigen ließe.

Für die Zuverlässigkeit der Härteprüfgeräte ist aus der Tafel der Vergleichsmessungen und der Streuungen s_m zu folgern, daß, jedenfalls für größere Härten, eine Toleranz von $\pm$ 1 VHE ausreichen müßte (statt der bisherigen Toleranz von $\pm$ 2 VHE der Fachuntergruppe Prüfmaschinen), insbesondere wenn auf die zweckmäßige Auswahl der Meßuhren und ihres Meßbereichs geachtet wird.

Aus der verhältnismäßig geringen Streuung der Härte der Prüfstücke ist zu entnehmen, daß es möglich sein muß, Härtevergleichsstücke zur Überwachung von Härteprüfern herzustellen, für deren Härte innerhalb $\pm$ 0,5 VHE (statt bisher innerhalb $\pm$ 1 VHE) eine Gewähr übernommen wird. Voraussetzung dafür ist freilich, daß die Härtevergleichsstücke hinreichend gealtert sind[1]) und zur Prüfung sorgfältig untersuchte Härteprüfgeräte verwendet werden. Für den Benutzer der Härteprüfer würde eine Reihe zuverlässiger Härtevergleichsstücke die zeitraubenden Untersuchungen der einzelnen Fehlerquellen des Härteprüfers überflüssig machen.

Zusammenfassung zu Abschnitt II

Die Fehler sowie die Streuung der Angaben eines im Laboratorium für Neigungswaagen aufgestellten Härteprüfers wurden untersucht. Die Abweichung der Druckkräfte von den Sollgrößen war vernachlässigbar klein. Die Fehler der Meßuhrangaben erwiesen sich als so groß, daß sie bei genaueren Messungen berücksichtigt werden müssen. Eine Herabsetzung der Fehlergrenze der Druckkraft $P = 150$ kg auf $\pm$ 0,5 Proz. scheint ohne Schwierigkeit zu erreichen zu sein. Vorgeschlagen wird, von den in Härteprüfern verwendeten Meßuhren zu verlangen, daß sie die Druckstempelbewegung innerhalb des gekennzeichneten Verwendungsbereiches von der Größe einer Zeigerumdrehung mit einem Fehler von nicht mehr als $\pm 0{,}6\,\mu = \pm$ 0,3 VHE, bezogen auf den Ausgangswert, angeben. In Messungen, bei denen die Bewegungsrichtung des Druckstempels vor den beiden Zeigerablesungen gegenläufig ist, geht die Umkehrspanne des Härteprüfers voll ein. Derartige Messungen ergeben Härtewerte, die um ungefähr 1,2 VHE zu klein sind. Es wird empfohlen, in die DIN-Vornorm einen Zusatz aufzunehmen, der gleichsinnige Druckstempelbewegungen vor den Ablesungen fordert. Die Angaben des untersuchten Härteprüfers des Neigungswaagenlaboratoriums streuten um ungefähr $\pm$ 0,25 VHE, die Streuung

[1]) Vgl. K. Frank, Werkstattstechnik u. Werksleiter **31**, 213/214, 1937.

einiger anderer Prüfgeräte, die zum Vergleich untersucht wurden, lag zwischen $\pm$ 0,10 und $\pm$ 0,60 VE. Die Streuung der Härte einiger Härtevergleichsstücke wurde zu $\pm$ 0,10 ... $\pm$ 0,35 VHE gefunden. Eine Herabsetzung der Toleranzen der Angaben der Härteprüfer von $\pm$ 2 auf $\pm$ 1 VHE und der Härtevergleichsstücke von $\pm$ 1 auf $\pm$ 0,5 VHE wird vorgeschlagen.

Herrn Oberregierungsrat Dr. Kornatz, dem Vorsteher des Laboratoriums für Neigungswaagen, danke ich für seine Förderung der vorstehenden Untersuchungen.

Berlin-Charlottenburg, im Dezember 1938.

(Eingegangen 31. Dezember 1938)

Über ein Röhrenprüffeld zur Messung von Durchgriff, Steilheit und innerem Widerstand mittels Wechselstrom

Von E.-W. Helmholz

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

I. Einleitung

Durchgriff, Steilheit und innerer Widerstand von Elektronenröhren können aus den statischen Kennlinien bestimmt oder in Brückenschaltungen mittels Tonfrequenz gemessen werden. Da die Wechselstrommessung als Nullmethode wesentlich genauer als die Messung mit Gleichstrom ist, wurde das zweite Verfahren vorgezogen und ein Prüffeld aufgebaut, in dem die Röhrendaten mittels Tonfrequenz gemessen werden konnten. In der vorliegenden Arbeit sollen zunächst die Meßmethoden kurz erläutert und dann die Fehler, die beim Zusammenbau der Apparatur auftraten, und ihre Beseitigung besprochen werden. Danach folgt eine Beschreibung des fertigen Röhrenprüffeldes sowie die Bestimmung seiner Meßgenauigkeit. Zum Schluß wird dann auf Grund der gemessenen Streuung der Durchgriffs-, Steilheits- und inneren Widerstandswerte einer Anzahl Rundfunkröhren gezeigt, daß die Genauigkeit des Röhrenprüffeldes den Anforderungen der Praxis genügt.

II. Prinzipschaltungen

1. Das Prinzipschaltbild zur Durchgriffsmessung[1]) zeigt Abb. 1. An dem von Wechselstrom durchflossenen Schleifdraht werden Gitter- und Anodenspannung abgegriffen. Der Gleitkontakt wird so lange verschoben, bis der in der Kathodenleitung liegende Fernhörer schweigt.

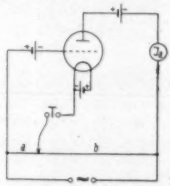

Abb. 1. Durchgriffsmessung.

Der Anodenwechselstrom und infolgedessen auch die Steuerspannung sind dann 0. Aus

$$U_{st} = U_g - D \cdot U_a = 0$$

folgt

$$D = -\frac{U_g}{U_a}.$$

Bezeichnet man den Widerstand der Längeneinheit des Schleifdrahtes mit w, so ist

$$D = -\frac{U_g}{U_a} = \frac{I \cdot a \cdot w}{I \cdot b \cdot w} = \frac{a}{b}.$$

Wenn der Fernhörer, wie in Abb. 1, in der Kathodenleitung liegt, wird D_e, der Durchgriff bezogen auf konstanten Emissionsstrom, gemessen, liegt der Hörer in der Anodenleitung, mißt man D_a, den Durchgriff bezogen auf konstanten Anodenstrom. In der vorliegenden Arbeit ist immer D_e gemessen worden.

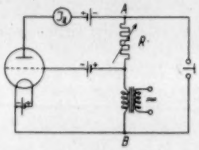

Abb. 2. Steilheitsmessung.

2. Das Prinzipschaltbild zur Steilheitsmessung[1]) zeigt Abb. 2. Dem Gitter der Röhre wird über einen Transformator eine Wechselspannung zugeführt, wobei der entstehende Anodenwechselstrom an dem Widerstand R einen Spannungsabfall $dI_a \cdot R$ erzeugt. Wird R

1) Martens, Zeitschr. f. Phys. **4**, 437, 1921.

1) Schottky, Telegr.- u. Fernsprechtechn. **9**, 31, 1920.

so lange verändert, bis der Fernhörer schweigt, so ist

$$dU_{AB} = dU_g - dI_a \cdot R = 0$$

oder da

$$S = \frac{dI_a}{dU_g}$$

$$S = \frac{1}{R}.$$

3. Abb. 3 zeigt das Prinzipschaltbild für die Messung des inneren Widerstandes[2]). Da dieser bei Tonfrequenzen in bester Annäherung als

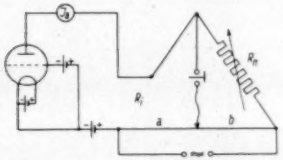

Abb. 3. Messung des inneren Widerstandes.

reiner Wirkwiderstand anzusehen ist, kann er in der Wheatstoneschen Brücke gemessen werden. Bei Schweigen des Fernhörers ist dann der innere Widerstand

$$R_i = R_a \cdot \frac{a}{b}.$$

III. Aufbau der Meßgeräte

4. Zur Ausführung der Versuche wurden zunächst die Röhre mit den dazugehörigen Meßinstrumenten, Schiebewiderständen, Schaltern und Anschlußbuchsen der besseren Übersicht und festen Leitungsführung wegen zu einem Instrumentenpult vereinigt. Die Schaltung isf in Abb. 4 wiedergegeben. Die Meßinstrumente für die Heiz-Anoden- und Gitterströme und für die dazugehörigen Spannungen wurden schräg liegend angeordnet, so daß sie beim Arbeiten gut übersehen werden konnten. Die Strommesser wurden fest in die Leitungen eingebaut und mit Überbrückungskondensatoren von 10 μF für die Tonfrequenz von 1000 Hz versehen, während die Spannungsmesser nur zur Überprüfung der Spannungen vor und nach jeder Messung mittels Schaltern an die Röhre angelegt wurden. Die Gittergleichspannung wurde von einem Potentiometer abgegriffen, das auch mit einem Kondensator von 10 μF überbrückt war. Die Umschalter dienten zum Umpolen der Gitterbatterie und der Meßinstrumente. Um Röhren mit den verschiedensten Sockeln untersuchen zu können, wurde auf dem Instrumentenpult ein Grundsockel mit Steckbuchsen angebracht, in den die zu den verschiedenen Röhren passenden Zwischensockel hineingesteckt und auch ungesockelte Röhren leicht mit Steckerschnüren angeschlossen werden konnten. An dieses Instrumentenpult wurden die Geräte zum Messen von Durchgriff, Steilheit und innerem Widerstand nebst den erforderlichen Batterien mittels einer Steckbuchsenleiste angeschaltet. Außerdem diente es zum Aufnehmen der statischen Kennlinien der Röhren. Sämtliche Spannungen wurden Akkumulatorenbatterien entnommen.

5. Als Schleifdraht wurde ein 0,2 mm starker Manganindraht auf einen 2 m langen Holzmaßstab über Messingschneiden aufgespannt. Um bewegliche Leitungen zu dem Gleitkontakt zu vermeiden, wurde in 1 cm Abstand von dem Schleifdraht ein Stromzuführungsdraht gezogen. Auf beiden Drähten liefen Bronzefedern mit Platinkontakten, die an einem Schlitten befestigt und dort miteinander verbunden waren. Der Schlitten trug ferner ein Ablesefenster mit Teilstrichen. Das Ganze war auf ein starkes Brett aufgeschraubt, auf dem auch die Anschlußklemmen befestigt waren. Als Meßwiderstand wurde ein Kurbelwiderstand mit induktions- und kapazitätsarmer Wicklung benutzt. Um bei den kleinen Wechselspannungen das Minimum besser abhören zu können, wurde vor den Fernhörer ein einstufiger Niederfrequenzverstärker geschaltet, der über einen Eingangstransformator

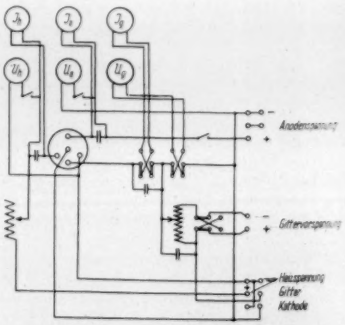

Abb. 4. Schaltung des Instrumentenpultes.

an die Meßapparatur angeschlossen war. Für die Erzeugung der zu den Messungen erforderlichen Tonfrequenz von 1000 Hz wurde ein Röhrensummer benutzt und über einen Stöpseltransformator mit den Geräten verbunden.

2) Barkhausen, Jahrb. d. drahtl. Telegr. u. Teleph. **14**, 36, 1919.

IV. Fehler der einfachen Schaltungen und ihre Beseitigung

6. Aus diesen Einzelteilen wurden die jeweiligen Schaltungen (siehe Absatz 1–3) zusammengebaut. Die Versuchsergebnisse waren bei einfacher Anschaltung der Brücken unbefriedigend, da Störspannungen auftraten, die, von außen induziert, eine scharfe Brückenabstimmung unmöglich machten. Besonders störte das Netzbrummen der Lichtleitung und der Berliner Rundfunksender.

7. Zur Vermeidung dieser Störungen wurden zunächst sämtliche Verbindungsleitungen in geerdeten Metallschläuchen verlegt. Weiterhin wurde in die Brücke zum Messen des Durchgriffs und des inneren Widerstandes eine Wagner-Erdung eingebaut, wodurch die kapazitiven Erdströme beseitigt werden konnten. Durch wechselseitiges Schieben der Schleifkontakte beider Schleifdrähte wurde nach und nach das Minimum scharf eingegrenzt. Noch vorhandenes Netzbrummen wurde durch günstige Aufstellung der Akkumulatorenbatterien und durch Erden des Fernhörerverstärkers am Kathodenpunkt beseitigt. Schließlich wurde die vom Gitterpotentiometer aufgefangene Hochfrequenz, die vom Berliner Sender herrührte, durch Überbrücken des Potentiometers mit einem Kondensator von 10 μF zur Erde abgeleitet. Zur Vermeidung von nichtlinearen Verzerrungen, bei deren Vorhandensein sich Obertöne des Meßtons im Minimum störend bemerkbar machen, nimmt man die Wechselspannungen an den Brücken so klein wie möglich. Bei der Durchgriffs- und der Widerstandsmessung betrugen die Spannungen etwa 0,2 V, bei der Steilheitsmessung etwa 0,02 V.

V. Aufbau des Prüffeldes

8. Nach diesen Feststellungen wurde der endgültige Aufbau des Röhrenprüffeldes vorgenommen. Dieses bestand schließlich aus dem Instrumentenpult, der Schleifdrahtanordnung, einem Kurbelwiderstand von 0,1 bis 20000 Ω, einem Niederfrequenzverstärker für den Fernhörer und einem Röhrensummer.

9. Die Schaltung zur Durchgriffsmessung zeigt Abb. 5. Der strichpunktiert eingerahmte Teil deutet das Instrumentenpult an. Zwischen Gitter und Anode der Röhre liegt der Schleifdraht S_1 und parallel zu diesem die Wagner-Erdung S_2. Der Fernhörerverstärker verbindet den Gleitkontakt von S_1 mit der Kathode der Röhre. Die Tonfrequenz wird den Schleifdrähten über den Transformator Tr und einen doppelpoligen Schalter zugeführt. Die gestrichelten Linien bezeichnen die mit geerdeter Abschirmung versehenen Leitungen. Der besseren Übersicht wegen sind die Verbindungen zwischen den einzelnen Abschirmungen in den Zeichnungen fortgelassen.

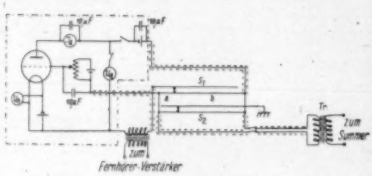

Abb. 5. Durchgriffsmessung.

Zur Messung des Durchgriffs wurde zunächst der betreffende Arbeitspunkt mittels des Gitterpotentiometers eingestellt, wobei zu der Heiz- und der Anodenspannung der Anodenstrom abzulesen war. Nach Abschalten der Spannungsmesser wurde die Wechselspannung von etwa 0,2 V angelegt, der Anodenstrom noch einmal kontrolliert und durch Verschieben der Schleifkontakte auf S_1 und S_2 der Fernhörer zum Schweigen gebracht. Der Durchgriff errechnete sich aus dem Verhältnis der Schleifdrahtlängen zu $\frac{a}{b} \cdot 100$ in Hundertsteln.

10. Die Schaltung zur Steilheitsmessung ist in Abb. 6 wiedergegeben. Zwischen Anode und Gitter der Röhre liegt der Kurbelwiderstand R, zwischen Gitter und Kathode der Transformator Tr, der dem Gitter die Wechselspannung von etwa 0,02 V zuführt, und an den Endpunkten A und B des Widerstandes und des Transformators der Fernhörerverstärker. Die Erdung liegt hierbei an dem negativen Ende der Kathode.

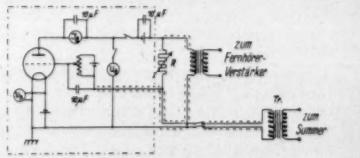

Abb. 6. Steilheitsmessung.

Nach Einstellen des Arbeitspunktes wurde durch Verändern des Widerstandes R der Fernhörer zum Schweigen gebracht. Die Steilheit berechnet sich zu $\frac{1}{R} \cdot 10^3$ in mA/V.

11. Die Schaltung zur Messung des inneren Widerstandes zeigt die Abb. 7. Mittels abgeschirmter Verbindungsleitungen ist die Widerstandsmeßbrücke mit Wagner-Erdung in den Anodenkreis geschaltet. Als Nullspannungsanzeiger dient der Fernhörerverstärker. Die Tonfrequenz wird über den Transformator Tr zugeführt.

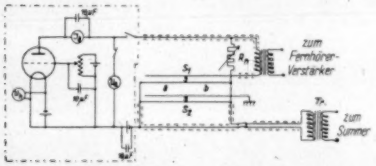

Abb. 7. Messung des inneren Widerstandes.

Nach Einstellen des Arbeitspunktes und Anlegen der Wechselspannung von etwa 0,2 V an die Brücke ergibt sich der innere Widerstand der Röhre zu $\frac{a}{b} \cdot R_n$.

VI. Bestimmung der Meßgenauigkeit

Nachdem die Grundmethoden für die Messung von Durchgriff, Steilheit und innerem Widerstand von Röhren und das daraus entwickelte Röhrenprüffeld beschrieben sind, folgen nun die Untersuchungen über Einlaufzeit, Empfindlichkeit und Meßgenauigkeit der Geräte.

1. Einlaufzeit

12. Als Einlaufzeit wird die Zeit nach dem Einschalten der Apparatur bezeichnet, nach der sämtliche Größen, die während der Messung konstant gehalten werden müssen, sich nicht mehr verändern. Diese Zeit wird in der Hauptsache von dem Erwärmen der Röhre abhängen, da eine von der Temperatur abhängige Änderung der Meßwiderstände bei den kleinen zur Verwendung kommenden Strömen kaum eintreten kann. Es wurde daher zu ihrer Ermittlung so verfahren, daß nach dem Einschalten jede Minute eine Messung der betreffenden Größe, Durchgriff, Steilheit und innerer Widerstand, in einem Arbeitspunkt der Charakteristik ausgeführt wurde. Es ergab sich, daß nach etwa 7 Minuten sämtliche Größen konstant blieben. Die Einlaufzeit wurde daher auf 10 Minuten bemessen.

2. Empfindlichkeit der Brücke

13. Zur Bestimmung der Einstellgenauigkeit des Minimums wurden nach Abgleichen der Brücken auf Verschwinden des 1000-Hz-Tones die Abgriffe der Schleifdrähte bzw. des Kurbelwiderstandes so weit nach beiden Seiten des Minimums verschoben, bis der Ton deutlich wieder hörbar war.

Bei der Durchgriffsmessung betrug dieser Abstand $\pm$ 0,1 mm. Wegen der ungleich großen Gitter- und Anodenwechselspannungen, die ungefähr im Verhältnis 1:10 standen, befand sich der Schleifer nahe dem einen Ende des 2 m langen Brückendrahtes. Daraus ergab sich eine Einstellgenauigkeit von etwa $\pm$ 0,6 v. T.

Bei der Steilheitsmessung konnte der 1000-Hz-Ton durch Verändern des Kurbelwiderstandes um etwa $\pm$ 0,4 Ω bei einem Gesamtwiderstand von $R = 662\,\Omega$ wieder auf gut hörbare Lautstärke gebracht werden. Das ergibt ebenfalls eine Genauigkeit der Einstellung von ungefähr $\pm$ 0,6 v. T.

Bei der Messung des inneren Widerstandes wurde der Vergleichswiderstand R_n immer etwa auf den Wert des zu messenden Röhrenwiderstandes R_i eingestellt. Da der Schleifkontakt sich hierbei in der Mitte des Brückendrahtes befand, war die Einstellgenauigkeit bei einer Verschiebung um $\pm$ 0,1 mm etwas größer als bei der Durchgriffsmessung. Sie betrug $\pm$ 0,2 v. T.

3. Relative Meßgenauigkeit des Prüffeldes

14. Zur Bestimmung der relativen Meßgenauigkeit wurden an einer Röhre RE 134 der Durchgriff, die Steilheit und der innere Widerstand in je acht verschiedenen Arbeitspunkten gemessen, und zwar in jedem einzelnen Punkt sechsmal hintereinander. Für jeden Arbeitspunkt wurde dann der mittlere Fehler der einzelnen Messung berechnet und das Mittel aus den je acht mittleren Fehlern als mittlere relative Meßgenauigkeit bezeichnet. Diese ergab sich bei der Durchgriffsmessung zu etwa $\pm$ 0,1 v. T., bei der Steilheitsmessung zu ungefähr $\pm$ 0,8 v. T. und bei der Messung des inneren Widerstandes zu etwa $\pm$ 0,4 v. T.

4. Absolute Meßgenauigkeit

15. Die absolute Meßgenauigkeit des Röhrenprüffeldes wird hauptsächlich durch die Genauigkeit der beiden Heiz- und Anodenspannungsmesser und des Anodenstrominstruments bestimmt, die mit etwa 2 v. T. für jedes der drei Instrumente niedriger lag als die der übrigen

Apparate. Die Genauigkeit des Kurbelwiderstandes betrug etwa $\pm$ 0,1 v. T. und die kleinste relative Meßgenauigkeit, nämlich die der Steilheitsmessung, ungefähr $\pm$ 0,8 v. T. Der quadratische Fehler aus diesen Werten ergibt eine absolute Meßgenauigkeit von etwa $\pm$ 3,5 v. T.

16. Die Richtigkeit der gemessenen Werte untereinander kann durch Anwendung der Röhrenformel von Barkhausen, $D \cdot S \cdot R_i = 1$, geprüft werden. In der Zahlentafel I sind die betreffenden zusammengehörigen Mittelwerte der Messungen des Absatzes 14 eingetragen und ihre Produkte gebildet. In der letzten Spalte stehen die Abweichungen vom Sollwert 1,000 in Tausendsteln. Man sieht daraus, daß die Abweichung im Mittel etwa $\pm$ 2 v. T. beträgt, die gemessenen Werte also die Röhrenformel gut bestätigen. Die größere Abweichung bei dem Anodenstrom von 0,5 mA rührt von der etwas größeren Unsicherheit der Einstellung der Steilheitsmessung bei kleinen Strömen her.

Zahlentafel I

Abweichung des gemessenen Produktes $D \cdot S \cdot R_i$ von 1,000

I_a in mA	D in v. H.	S in mA/V	R_i in Ω	$D \cdot S \cdot R_i = 1$	Abweichung von 1,000 in Tausendsteln
0,5	11,54	0,404	21337	0,995	− 5
1,0	11,40	0,623	14097	1,001	+ 1
2,0	11,24	0,943	9448	1,001	+ 1
4,0	11,12	1,339	6727	1,002	+ 2
6,0	11,04	1,621	5600	1,002	+ 2
8,0	10,97	1,855	4910	0,999	− 1
10,0	10,92	2,049	4462	0,998	− 2
12,0	10,86	2,222	4139	0,999	− 1

VII. Vergleich der Meßgenauigkeit des Prüffeldes mit der Streuung von Röhrendaten

Zum Schluß der Ausführungen soll noch untersucht werden, ob die Meßgenauigkeit des Röhrenprüffeldes den Anforderungen der Praxis genügt. Zu diesem Zweck wurde die Streuung der Werte des Durchgriffs, der Steilheit und des inneren Widerstandes in ein und demselben Arbeitspunkt an einer Anzahl Rundfunkröhren bestimmt. Von 19 Röhren RE 134 wurden unter normalen Betriebsbedingungen, nämlich bei 4 V Heizspannung, 250 V Anodenspannung und 6 mA Anodenstrom, der Durchgriff und der innere Widerstand gemessen und daraus dann die Steilheit berechnet. Das Ergebnis ist in der Zahlentafel II zusammengestellt. In den Spalten 2 und 3 stehen die gemessenen Durchgriffs- und Widerstandswerte, in der 4. Spalte die berechneten

Zahlentafel II

Streuung der Röhrendaten

Rohr Nr.	D_{gem} in Hundertsteln	$R_{i\,gem}$ in Ω	S_{ber} mA/V
1	9,77	5898	1,735
2	9,86	6205	1,634
3	11,04	5923	1,529
4	9,87	5833	1,737
5	10,74	6170	1,509
6	10,59	6084	1,552
7	10,37	5610	1,719
8	11,14	5645	1,590
9	11,49	5023	1,548
10	10,44	6093	1,572
11	10,07	6130	1,620
12	10,16	5608	1,755
13	11,30	5848	1,513
14	10,62	5695	1,653
15	11,01	5621	1,616
16	11,27	5753	1,542
17	9,85	6665	1,523
18	10,99	5553	1,639
19	10,81	6353	1,456
Mittel ...	10,60	5911	1,602

Steilheiten. Aus den Schwankungen der gemessenen Werte berechnete sich dann für den Durchgriff, die Steilheit und den inneren Widerstand je eine mittlere Abweichung von rund $\pm$ 5 v. H. für die einzelne Röhre. Dieser Streuung der einzelnen Röhrendaten von $\pm$ 5 v. H. steht eine absolute Meßgenauigkeit des Prüffeldes von $\pm$ 3,5 v. T. gegenüber. Das Ergebnis der Untersuchungen kann also dahingehend zusammengefaßt werden, daß die angestrebte und durch den Aufbau erreichte Meßgenauigkeit den an das Prüffeld zu stellenden Anforderungen genügt.

VIII. Zusammenfassung

In vorliegender Arbeit wird der Aufbau eines Röhrenprüffeldes zum Messen von Durchgriff, Steilheit und innerem Widerstand von Elektronenröhren mittels Wechselstrom beschrieben. Die einzelnen Meßmethoden wurden untersucht. Die Einlaufzeit, die Einstellgenauigkeit der Meßbrücken und die relative und absolute Meßgenauigkeit des Prüffeldes wurde bestimmt und ein Vergleich der gemessenen Werte mit der Röhrenformel von Barkhausen, $D \cdot S \cdot R_i = 1$, durchgeführt. Die absolute Meßgenauigkeit des Prüffeldes ergab sich zu $\pm$ 3,5 v. T., eine Genauigkeit, die den Anforderungen der Praxis genügt, wie die Streuung der Daten von normalen Rundfunkröhren, die zu etwa $\pm$ 5 v. H. gemessen wurde, zeigt.

Berlin-Charlottenburg, im Januar 1939.

(Eingegangen 28. Januar 1939)

Schlagweitenvergrößerung durch den Strahlstoß und Strahlhelligkeit von Stoßfunken

Von Max. Toepler

Inhalt: Die Arbeit bildet eine Fortsetzung der Notiz über den Lichtstoß des Funkens in vorliegender Zeitschrift, Jahrgang 39, 1938, Heft 13, S. 523 bis 530. Es wird versucht, unsere Kenntnis der spannungssenkenden Eigenschaft ultravioletter Funkenstrahlung zu erweitern, dies unter Anwendung des Stoßfunkens als Strahler. Messung von Strahlintensitäten der Stoßfunken in Abhängigkeit von der Elektrodensubstanz; Abschätzung der Strahlintensität des Blitzes.

I. Versuchsanordnung

1. Zündfunken F_{10}, Strahlfunken F^*, Empfängerfunken F_5

Zur Herstellung der einen Strahlstoß gebenden Stoßfunken wurde eine von mir zur Erzeugung von Gleitentladungen eingeführte[1]) Versuchsanordnung benutzt. Für sie konnte ich auf Grund meines Funkengesetzes[2]) den zeitlichen Spannungsverlauf und Stromstärkenverlauf angeben[3]). Fig. 1 zeigt die Versuchsanordnung in schematischer Darstellung.

Eine Gleichrichteranlage für 140 kV lieferte über eine Regulierkapazität (wirksam rund 40000 cm) und zwei große Schieferwiderstände von je rund 10^7 Ohm den speisenden Strom[4]).

Der Zündfunken F_{10} mit Kupferkugeln von je 10 cm Durchmesser lag zwischen den Innenbelegungen der Kapazitäten C_1 und C_2 (C_1 und C_2 aus je 10 Schottflaschen von je 4000 cm); die wirksame Kapazität K_{12} betrug 20000 cm. Zur Erhöhung der Elektrodenkapazität und damit des sicheren Ansprechens von F_{10} war die Hilfskapazität C', Glasplatten mit K' gleich 1600 cm wirksamer Kapazität, fast selbstinduktions- und widerstandslos parallel geschaltet. Die Außenbelege von C_1 und C_2 waren durch den großen Wasser-Alkoholwiderstand W_0 von mehr als 10^6 Ohm verbunden.

Der Stoßfunken F^* war zu W_0 parallel geschaltet, er befand sich vertikal stehend in der Funkenlampe[5]). Nur zu Tabelle I bildeten Kugeln (Stahl, 4 cm Durchmesser) die Elektroden, sonst stets Spitzen, d. h. Rundstäbe von 1 cm Durchmesser zugespitzt mit 30° ganzem Spitzenwinkel, aus beiderseits gleichem, aber von Fall zu Fall anderem Material. Der untere zugespitzte Rundstab war (nach Beseitigung der Kugelelektrode und der Halbkugel) einfach auf das Gewinde der unteren Kugelzuleitung aufgeschraubt, seine Spitze stand so frei 8 cm über der Bodenplatte der Lampe; der obere unten zugespitzte Rundstab war auf das

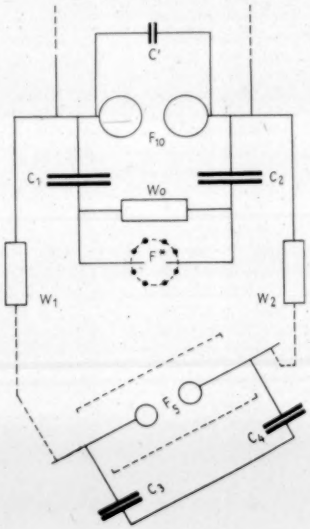

Fig. 1. Stoßanordnung.

bisher die obere Kugel tragende Gewinde aufgeschraubt. Die Funkenlampe stand wieder als Schutz gegen Seitenstrahlung in der samtverkleideten Holzumhüllung mit $2 \cdot 6$ cm² großem Schlitze und wurde seitwärts von unten mit Föhn angeblasen.

Das Empfangssystem war das gleiche wie l. c. eingangs; der anzustrahlende Schlagraum F_5 mit Messingkugeln von 5 cm Durchmesser befand sich wie früher in einem 12sprossigen, bis auf einem 5 cm breiten Längsschlitz mit Samt umhüllten Käfige von 20 cm Durchmesser und 35 cm Länge. Das parallel geschaltete Glasflaschensystem C_3 und C_4 hatte K_{34} gleich 6250 cm wirksame Kapazität. Die bestrahlte Funkenstrecke F_5 war wieder mit ihrem Käfig

1) Zuerst M. Toepler, Abh. d. naturw. Ges. Isis, Dresden, S. 41–46 1897; sowie Ann. d. Phys. **66**, 1061–1080, 1898.

2) M. Toepler, Ann. d. Phys. 21, 193–222, 1906.

3) M. Toepler, Ann. d. Phys. letztes Zitat; Mitt. d. Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren G. m. b. H. H. 9, 175–222, 1924; ETZ. **45**, H. 40, 1045–1050, 1924; und besonders Arch. f. Elektrotechn. **17**, H. 1, 61–70, 1926.

4) Anordnung wie M. Toepler, Physik. Zeitschr. **35**, 161–166, 1934.

5) Eingehende Schilderung mit Bild vgl. M. Toepler, Physik. Zeitschr. **39**, 523–530, 1938.

und Zubehör zur Strahlrichtung von F^* nach der Kathode von F_5 um 30° gedreht.

In die tunlichst selbstinduktionslosverlegten Zuleitungen zum Empfängersystem waren die Flüssigkeitswiderstände W_1 und W_2 von je 10^5 Ohm eingeschaltet. Der Abstand A vom Strahlfunken F^* zur Kathode des Empfängers an F_5 betrug in vorliegender Arbeit ausnahmslos 2,00 m.

2. Spannungs- und Stromverlauf in den Systemteilen

Der Gleichrichterstrom wurde so dosiert, daß nur alle 5–10 sec eine Entladung bei F_{10} bzw. bei F_5 erfolgte, also nur eine langsame Spannungssteigerung bei F_{10} und gleichzeitig bei F_5 bis zur statischen Anfangsspannung P_{10} bzw. P_5. Es ist bekanntlich

$$P_{10} \text{ bzw. } P_5 = 25 \cdot F_{10} + 6{,}7 \cdot \sqrt{F_{10}}\,\text{kV} \quad (1)$$

oder mit einer meist genügenden Annäherung P gleich $31{,}7 \cdot F$ kV.

Sind, wie in vorliegender Arbeit, F_{10} und F_5 gegen wechselseitige Bestrahlung hinreichend geschützt, so geht bei festem F_{10} für ganz bestimmten Wert von F_5 gleich s_{norm} die Entladung von F auf F_{10} über; gleichzeitige Funken in F_{10} und F_5 treten nicht auf.

In Fig. 2 ist für bestimmtes F_{10} mit P_{10} und wesentlich größere Länge F_5 der zeitliche Verlauf von Spannung und Stromstärke an den maßgebenden Stellen in allgemeinen Zügen dargestellt, und zwar für den Fall, daß W_9 sehr groß ist, und F^* so klein, daß bei F^* die strahlgebenden Funken auftreten; K' kommt zuerst durch F_{10} und dann erst zeitlich nachhinkend K_{12} durch F_{10} und F^* zur Entladung. In F_{10} bildet sich also genau genommen ein Doppelfunken; K_{34} wird nur langsam und nur bis zu einem großen Ladungsrest gleichfalls durch F_{10} entladen.

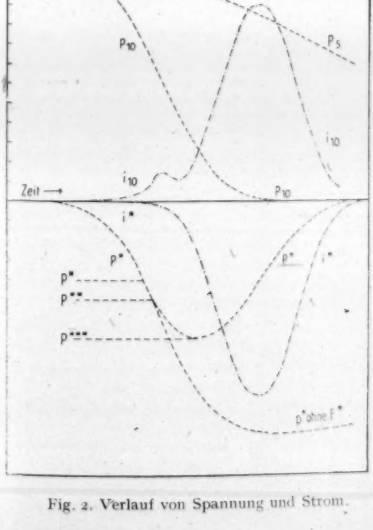

Fig. 2. Verlauf von Spannung und Strom.

In den Figuren ist angegeben:

p_{10} d. h. der Verlauf der Spannung an F_{10} unter der Annahme, daß P_{10} die statische Anfangsspannung für F_{10} ist;
i_{10} die zugehörige Stromstärke im Funken F_{10} mit Berücksichtigung des Zusatzstromes aus K';
p^* der Spannungsverlauf an F^*;
P^* die statische Anfangsspannung für F^*;
P^{**} die Anfangsspannung bei Stoß für F^*;
P^{***} die höchste im Stoßfunken F^* erreichte Spannung;
i^* der Verlauf der Stromstärke im Strahlfunken F^*;
p_5 der Spannungsverlauf an F_5, wenn F_5 so groß gewählt ist, daß kein Funken F_5 auftritt, selbst nicht für die durch Bestrahlung von F_5 durch F^* stark gesenkte Anfangsspannung.

Die Geschwindigkeit des Absinkens von p_5 hängt von der Differenz zwischen p_5 und p_{10} und von der Größe der zwischen F_5 und F_{10} liegenden Widerstände W_1 und W_2 ab. Die Zeitdifferenz zwischen der Entladung von K' und von K_{12} durch F_{10} wächst mit der Annäherung von P^{**} an die (negative) Zündspannung P_{10}. Wichtig ist, daß demnach p_5 im Augenblick der Funkenbildung F^*, also der Bestrahlung, um so mehr unter den Normwert P_{10} gesenkt ist, je größer F^*, besser je größer P^{***} relativ zu P_{10} eingestellt ist.

Weiter ist von allergrößter Wichtigkeit, daß der Maximalwert von E^*, d. h. die geflossene Elektrizitätsmenge, ganz unabhängig ist von P^*, d. h. auch von der Länge von F^*. Es ist

$$E^*_{max} = K_{12} \cdot P_{10} \quad (1^*)$$

Mittels meines Funkengesetzes ließ sich i^* berechnen[1]), es ist

$$i^*_{max} = \frac{K_{12}}{4\,k\,F_{10}} \cdot P^2_{10}. \qquad (1^{**})$$

mit F^* tritt für F_{10} der Wert $(F_{10} + F^*)$.

3. Die Strahlwirkung

Durch Bestrahlung wird die Anfangsspannung für festgehaltene Schlagweite (natürlich unterhalb der für F_5 frisch bei 2 cm für F_5 alt bei 1,9 cm gelegenen Knickstelle) herabgesetzt, oder auch es wird bei festbleibender Spannung die Schlagweite hinaufgetrieben.

Bei nicht eingeschaltetem oder gut abgeblendeten F^* wurde zunächst die zu P_{10} gehörige Länge s_{norm} von F_5 festgestellt; hierzu diente eine schrittweise Verlängerung von F_5 bis (bei F_5 gleich s_{norm}) die Funkenbildung von F_5 auf F_{10} überging (Messung durch Abzählen der Treffer, s_{norm} bei 50 Proz.).

Bei Bestrahlung von F_5 durch F^* wurde weiter F_5 schrittweise vergrößert bis bei F_5 gleich s_{max} nicht mehr in F^* und F_5 gleichzeitig, sondern nur noch in F^* sich bei Entladung F_{10} ein Funken bildete, d. h. bei s_{max} hörte mit 50 Proz. Treffern die Zündung von F_5 durch F^* auf.

Unter „Strahlwirkung" sei wieder die gemessene Verlängerung $(s_{max} - s_{norm})$ verstanden. Genau genommen mußte, da bei F_5 zur Zeit der stärksten Strahlung nicht mehr die Spannung P_{10}, die für s_{norm} gemessen wurde, sondern ein gesenkter Spannungswert herrscht, eine der Spannungssenkung entsprechende Korrektion zum Werte $(s_{max} - s_{norm})$ hinzugezählt werden.

Die Streuung der einzelnen Meßwerte für die Strahlwirkung ist für Spitzen bei F^* und Anwendung von Stoßfunken geringer als an Kugelelektroden und für statische Spannung; trotzdem blieb sie sehr groß, so daß es auch hier zweckmäßig erscheint, einen Teil der Meßergebnisse im einzelnen mitzuteilen, um eine eigene Orientierung über die Sicherheit der gezogenen Schlußfolgerungen zu ermöglichen.

II. Messungen

4. Einfluß von Elektrodengestalt und Länge von F^*

In Tabelle I wurden am Strahler die alten Strahlkugeln von 4 cm Durchmesser als Elektroden benutzt, in Tabelle II Eisenspitzen, in Tabelle III Kupferspitzen. Die Elektroden des Empfängers F_5 standen beiderseits isoliert im geerdeten Käfig, die Spannung bei F_5 war also wie bei F_{10} symmetrisch.

Bei den Messungen wurde für jeweils fest eingestellte Zündfunkenlänge F_{10} die Länge des Strahlfunkens F^* schrittweise um 0,5 cm vergrößert. Werte F_{10} unter 0,75 cm konnten nicht benutzt werden, da hierfür die Schattenwirkung im schiefgestellten F_5 stört. Angegeben sind für F_5 die gemessenen Werte s_{norm} in cm und die Strahlwirkung $(s_{max} - s_{norm})$ in Tausendstel mm

Tabelle I

Bei F^* Stahlkugeln 4 cm ⌀,
an F_5 symmetrische Spannung,
$b = 74{,}9$ cm Hg; $t = 19{,}8°$; F 60,9 Proz.

F_{10} in cm	0,750	1,000	1,250	1,500	1,750
s_{norm} in cm	0,751	0,988	1,240	1,481	1,740
F_4^* in cm	$s_{max} - s_{norm}$ in μ				
0,50	595	912	1125	1469	1592
1,00	kein F_4^*	945	1200	1507	1575
1,50	keine		1200	1521	1575
2,00	keine Zündung von F_4^*			F_4^* nach Käfig	
Mittel μ	595	929	1175	1500	1581

Tabelle II

Bei F^* Eisenspitzen
an F_5 symmetrische Spannung
$b = 75{,}4$ cm Hg. $t = 19{,}8°$. $F = 61{,}4$ Proz.

F_{10} in cm ..	0,750	1,000	1,250	1,500	1,750
s_{norm} in cm ..	0,752	0,986	1,244	1,488	1,748
F^* in cm	$s_{max} - s_{norm}$ in μ				
0,50	679	1017	1084	1414	1580
1,00	687	959	1125	1416	1656
1,50	629	973	1100	1416	1647
2,00	(501)	892	1140	1376	1689
Mittel μ	665	938	1112	1406	1640

Tabelle III

Bei F^* Kupferspitzen
an F_5 symmetrische Spannung
$b = 75{,}5$ cm Hg; $t = 19{,}4°$; $F = 58{,}1$ Proz.

F_{10} in cm ...	0,750	1,000	1,250	1,500	1,750
s_{norm} in cm .	0,750	1,005	1,255	1,497	1,750
F^* in cm	$s_{max} - s_{norm}$ in μ				
0,50	656	911	1098	1473	1638
1,00	675	948	1148	1498	1688
1,50	648	1012	1198	1573	1661
2,00	679	960	1198	1515	1725
Mittel μ	664	958	1161	1515	1678

[1]) M. Toepler, Ann. d. Phys. **21**, 220, 1906.

Tabelle IV

An F_5 symmetrische Spannung

F_{10} in cm					0,750	1,000	1,250	1,500	1,750
Mittelwert s_{norm} in cm					0,753	0,989	1,245	1,491	1,746
F^* Spitzen aus	Nr. des Blocks	b in cm	t in °C	F in Proz.	$s_{max} - s_{norm}$ in μ				
Graphit	5	74,8	19,8	60,9	379	636	829	1019	1203
Mg	4	74,5	20,0	58,8	367	584	766	981	1128
Al	8	74,5	20,8	60,0	750	926	972	1208	1517
A	16	74,8	19,8	58,6	741	1042	1161	1524	1818
Fe	6	75,4	19,8	67,1	665	938	1112	1406	1640
Fe	2	75,4	20,4	57,8	647	869	1072	1425	1657
(Fe$_4$)	7	74,9	19,8	61,0	595	929	1175	1500	1581
Ni	11	74,8	20,4	62,6	682	1025	1243	1567	1726
Ni	15	74,4	19,4	60,3	—	—	1206	1475	—
Chrom *Ni*	12	75,1	20,0	70,9	610	958	1065	1389	1566
Cu	1	75,5	19,4	58,2	665	958	1161	1515	1678
Zn	10	74,6	21,0	65,3	836	1038	1316	1559	1874
Zn	13	74,8	21,0	63,7	724	964	1280	1660	1891
Zn	14	75,1	20,0	65,1	720	1050	1237	1675	1871
Sn	3	74,7	19,6	63,6	535	789	1027	1356	1452
Sn	9	74,6	21,0	65,3	—	—	—	1354	1495

Man erkennt:

Satz 1: Die Strahlwirkung ist völlig unabhängig von der Länge des mit gleichen F_{10} gestoßenen Stoßfunken F^*.

Satz 2: Die Strahlwirkung ist die gleiche für eine Kugel oder eine Spitze am Strahlfunken F^* in der Funkenlampe.

Nun hat man, bei Stoß in der Lampe nur angenähert, die Funkenspannungen

für die Schlagweite 0,5 cm, 1,0 cm, 1,5 cm, 2,0 cm

bei Kugeln 17,3 kV, 31,9 kV, 46,0 kV, 59,8 kV,
bei Spitzen[1]) 9,7 kV, 13,8 kV, 18,1 kV, 22,1 kV.

Aus Satz 1 und 2 folgt demnach:

Satz 3: Die Strahlwirkung ist unabhängig von der Spannung am Strahlfunken.

Satz 4: Die Strahlwirkung kann nur von der allein bei gleichem F_{10} in allen Strahlfunken F^* gleich bleibenden entladenen Elektrizitätsmenge abhängig sein.

Ganz wie Meßblock Tabelle II für Eisenspitzen und Tabelle III für Kupferspitzen wurden weitere Meßblöcke für andere Metalle als Spitzenmaterial ausgeführt mit dem gleichen Ergebnis der Unabhängigkeit der Strahlwirkung von der Länge des Strahlers F^*. Es genüge, in Tabelle IV die bei den einzelnen in der in zweiter Zeile angegebenen Zeitfolge gewonnenen Mittelwerte mitzuteilen. Die Resultate von Tabelle I, II und III findet man entsprechend ihrer Bestimmungszeit unter Nr. 7, Nr. 2 und Nr. 1.

5. Die Schwenkstelle SF_5

Bei symmetrischer Spannung am Empfänger F_5 steigt die von der Länge des Strahlers F^* unabhängige Wirkung, wie Tabelle I, II, III und IV zeigt, nahezu linear an; vgl. Kurve s, s in Fig. 3, und dies bis zu der für F_5 gültigen Knickstelle KF_5 bei etwa 1,9–2,0 cm.

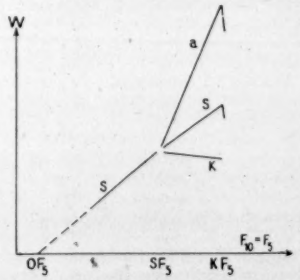

Fig. 3. Schwenkstelle der Strahlwirkung

1) Berechnet nach der Formel

$$8{,}90 \cdot \sqrt{F^*} + 4{,}78 \cdot F^* .$$

Vgl. M. Toepler, Ann. d. Phys. **19**, 191–209, 1906.

Tabelle V

F_5 mit einpoliger Käfigung

Zündfunken F_{10} in cm							0,750	1,000	1,250	1,500	1,750
F_5 in cm. Mit Käfig verbunden die Anode							0,750	0,983	1,243	1,491	1,763
F_5 in cm. Mit Käfig verbunden die Kathode							0,751	0,981	1,239	1,483	1,750
Bei F^* Spitzensubstanz	F^* in cm	Versuchs-Nr.	b in cm	t in °C	F in Proz.	Gekäfigt ist die	$s_{max} - s_{norm}$ in μ				
Cd	1,5	1	75,0	19,6	58	Anode	638	931	1130	1675	2245
	1,5					Kathode	580	849	973	1110	1185
Al	1,5	2	—	—	—	Anode	620	1060	1305	1658	2284
Mg	1,0	3	75,3	18,6	75	Anode	340	546	708	1200	1702
	1,0					Kathode	239	471	525	1003	1172
Sn	1,0	4	—	—	—	Anode	616	864	1129	1541	1920
	1,0					Kathode	458	800	794	990	1150
Zn	1,5	5	74,3	18,6	76	Anode	905	1212	1425	1720	2520
	1,5					Kathode	780	1055	1188	1267	1258
Al	1,0	6	76,3	18,6	68	Anode	680	1053	1275	1600	2275
	1,0					Kathode	637	965	1125	1150	1213
Tl	1,5	7	75,6	19,8	68	Anode	700	840	1150	1537	1950
	1,5					Kathode	631	770	980	998	1050
Mg	1,5	8	74,7	20,6	52	Anode	512	937	1129	1734	2029
						Kathode	504	887	1029	1350	1266
Cu	1,5	9	73,2	19,8	57	Anode	807	1159	1441	1914	2695
Fe	1,5						790	1111	1409	1870	2573
Ni	1,5						805	1155	1359	1890	2420
Cu	1,5	10	74,2	21,2	51	Anode	824	1130	1434	1843	2450
Zn	1,5						829	1135	1440	1840	2508
Al	1,5						808	996	1413	1683	2180

Neue Kupferelektroden F_{10} und neue Messingelektroden F_5

F_5 in cm. Mit Käfig verbunden die Anode							0,756	0,996	1,253	1,503	1,775
Cd	1,5	11	75,5	20,6	58	Anode	787	1033	1534	1950	2835
Ag	1,5						587	917	1250	1738	2292
Bi	1,5						640	983	1350	1850	2375
Mg	1,5						460	783	1150	1600	2159
Cu	1,5	12	75,6	21,8	49	Anode	620	1079	1493	1929	2277
Mg	1,5	13	75,1	—	—	Anode	440	866	1179	1658	1812
Cu	1,5	14	75,2	20,8	46	Anode	553	1078	1483	2042	2250
F_5 in cm. Mit Käfig verbunden die Anode							0,756	0,985	1,232	1,486	1,779

Für anodische Käfigung von F_5 (vgl. hierzu Tabelle V) fängt bei einer Schwenkstelle SF_5 etwa gleich 1,4 cm unvermittelt plötzlich ein wesentlich steilerer Anstieg an; man hat den Verlauf *s*, *a* in Fig. 3.

Für kathodische Käfigung von F_5 (vgl. Tabelle V) gilt Kurve *s*, *k* in Fig. 3. Bei nahe der gleichen Schwenkstelle SF_5 tritt unter stärkster Streuung der Werte langsamer Abfall der Wirkung ein.

Bei anodischer Käfigung bricht die Entladung F_5 sicher an der Kathode von F_5 aus. Als Grund für das Auftreten einer Schwenkstelle läßt sich folgendes annehmen.

Bei kleinen Schlagweiten F_5 besteht der den Funken F_5 einleitende Vorprozeß aus einem an der Kathode ausgelösten bis zur Anode hinüberreichenden Leuchtfaden (Baustein kurzer neg. Streifenentladung).

Bei größeren Schlagweiten F_5, d. h. oberhalb der Schwenkstelle, ist zu vermuten, daß der erstausgelöste Leuchtfaden die Anode nicht erreicht. Es muß sich erst an seinem freien Ende eine Felddivergenz bilden[1]), aus der dann ein weiterer Leuchtfaden in Verlängerung des ersten hervorbricht, der dann beim Erreichen der Anode erst den Funken F_5 auslöst.

Bemerkenswert ist, daß das Kurvenstück *s* unterhalb SF_5, beobachtet nur hinab bis 0,75 cm, nicht nach dem Koordinatenanfang, sondern abseits nach OF_5 hinzielt; vgl. hierzu Abschnitt 10.

6. Altern der Spitzen

Jeder starke Funken reißt aus der Elektrode eine Metalldampffontäne heraus, die dann zum

1) Vgl. M. Toepler, Arch. f. Elektrot. 27, 374–376, 1933.

Teil oxydiert sich niederschlägt; Hunderte[1]) geben so starke Änderungen von Spitzengestalt und Spitzensubstanz, vgl. Fig. 4.

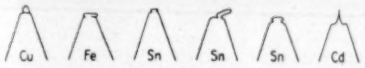

Fig. 4. Spitzenänderung durch Funken.

Alle Spitzen werden mehr oder minder rasch stumpfer.

1. Gruppe: Es zeigen *Al*, *Mg* u. dgl. starken weißen Oxydbeschlag.

2. Gruppe (vgl. Fig. 4): *Cu* bildet rasch eine hellrote glänzende Spitzenkappe, die sich weiterhin kaum ändert und beim Stehen wenig oxydiert. *Fe* bildet unter Beseitigung des Rostes eine stark glänzende eisengraue Platte, Funken an solchen alten Spitzen gehen nicht von der blanken Platte aus, sondern untergreifend von deren Rande; *Sn*: wie vorher, Bildung einer hochglänzenden besonders harten (!) Platte; bei fortgesetzter Funkenbildung von deren unteren Rand aus wird diese Platte mehr und mehr unterhöhlt und schließlich wie ein nichtleitender Fremdkörper abgestoßen; *Cd*: hier bildete sich manchmal eine sehr scharfe Spitze aus. Anzunehmen ist, daß eine Entgasung die Ursache des Verhaltens der 2. Gruppe ist. Vielleicht wäre, z. B. für Wismut, Tellur und Graphit eine

3. Gruppe, die der oft mechanisch auseinanderspringenden Spitzen, zu bilden.

Unter den vielen das Altern der Wirkung ($s_{max} - s_{norm}$) bedingenden Einflüssen scheint der Einfluß des Alterns der Spitzen stark zurückzutreten, sicher bei Anwendung von *Cu*-Spitzen.

Nach Tabelle VIII und IX zeigen Funken zwischen Spitzen, deren Gestalt stetig altert, wie aus *Fe*, *Zn*, *Pt*, *Au*, im Laufe der Gestaltänderung erst Anstieg der Strahlhelligkeit und nach einem Höchstwerte langsamen Abfall.

Im allgemeinen werden für Fig. 3 durch das gesamte Altern die Werte W gesenkt, aber nicht gleichmäßig, am wenigstens nahe SF_5, besonders stark nahe KF_5, verbunden mit Kleinerwerden von KF_5, der Abschnitt von O bis OF_5 wächst beim Altern erst langsam, dann rascher. Bemerkt sei, daß eine Vergrößerung des Zeitverzuges für den Funken F_5 eine Vergrößerung des letztgenannten Abschnittes veranlassen müßte.

1) Erst Hunderte wirken so wie ein schwacher Blitz mit $10 \cdot 10^3$ Amp. und einigen Coulomb, der z. B. an 1 mm starken blanken Kupferdrähten Spuren wie für *Cd* dargestellt, d. h. Schmelzgrube mit zentraler Spitze hinterläßt. Der einzelne Funken für $F_{10} = 1{,}75$ cm mit 20000 cm entladet kurzdauernd mit $i^*_{max} = 74 \cdot 10^3$ Amp. doch nur rund $^1/_{1000}$ Coulomb.

7. Verteilung der Strahlung auf die einzelnen Teile des Strahlers F^*

Der Batteriefunken F^* zeigt zwei Metalldampffontänen (vgl. Fig. 5) aus Anode p und aus Kathode n. Diese sind bei K_{12} gleich 20000 cm je nur bis 1,5 cm lang. Hierzu kommt für mehr als 3 cm lange Funken ein schmäleres Zwischenstück, der „Luftfunken". Letzterer zeigt die Spektrallinien der Elektrodensubstanz nur schwach.

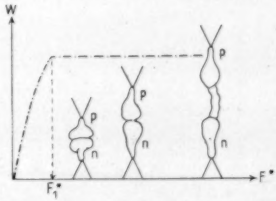

Fig. 5. Strahlwirkung und Gestalt des Stoßfunkens.

Tabelle VI gibt einen Teil der Messungen.

Tabelle VI

$F_{10} = 1{,}75$ cm mit $K_{12} = 20000$ cm. $A = 2$ m

Länge F^*	($s_{max} - s_{norm}$) in μ bei F_5 falls Spitzensubstanz bei F^*		
	Magnesium	Kupfer	Platin
0,5 cm voll	1310	—	2250
1,0 „ „	1410	—	2248
1,5 „ „	1535	2208	2267
2,0 „ „	1544	2193	—
3,0 „ „	1535	2185	2235
4,0 „ „	1544	2118	2110
5,0 „ „	1485	2205	2135
Von $F^* = 5$ cm 2 cm mitten .	1268	1425	1385
6,0 cm voll ..	—	2068	2323
Von $F^* = 6$ cm 2 cm mitten .	—	1368	—

Die Tabelle zeigt:

Satz 5: Die Stoßwirkung des vollen Funkens, d. h. die Gesamtstrahlung steigt rasch an. Die Länge F_1^*, von der ab die Stoßwirkung weiterhin konstant bleibt, ist vom Material der Spitzen abhängig.

Bemerkenswert ist, daß bei F_1^*, die Metalldampffontänen noch stark abgeplattet sind, wie in Fig. 5 links.

Blendet man mittels eines Holz-, Glas- oder Hartgummiplättchens einmal die untere Hälfte von F^* ab, einmal die obere, so erhält man die gleiche Strahlwirkung.

Satz 6: Beide Hälften von F^* strahlen gleich stark[1]).

Dies gibt die experimentelle Möglichkeit, Strahlungen im bestimmten Intensitätsverhältnisse $^1/_2 : 1$ herzustellen.

Satz 7: Das metalldampfarme Zwischenstück „der Luftfunken" strahlt nur schwach.

Die in Satz 1 bis 7 zusammengefaßten Beobachtungstatsachen lassen ältere ionentheoretische Betrachtungen ergänzen.

Aus Messungen an Gleitfunken fand ich (in Gleichung (1**) enthalten) eine Proportionalität der jeweiligen Leitfähigkeit der Funkenlängeneinheit mit der jeweils durch dies Funkenstück innerhalb kürzester Zeit geflossenen Elektrizitätsmenge E^*. Also ist die Zahl der jeweils im Funkenstück vorhandenen Ionen proportional mit E^*, sie übertrifft aber, wie ich errechnete[2]), weitaus die Zahl der für Elektrizitätstransport fortgeführten (etwa 1400 : 1).

Im Funkenkanale, bis dahin kalt[3]), verbleibt demnach eine große mit E^*_{max} proportionale Ionenmenge, welche nicht durch Leitung, sondern zeitlich nachhinkend durch Molisation mit Licht und Wärme verschwindet. Daher raschester Anstieg der Stärke der Lichtstrahlung erst während der Entladung, Lichtmaximum kurz nach Strommaximum, aufgebaut aus einer E^* proportionalen Zahl von Einzellichtpünktchen, langsames Abklingen hinterher.

An der Metallelektrode eines Funkens veranlaßt der Elektrizitätsaustritt eine Metalldampffontäne mit Linienspektrum, also Ionenleuchten. Die Untersuchung der von Batteriefunken im Raum auf Antennen ausgelösten Wanderwellen[4]) ergab wieder eine E^* proportionale Leitfähigkeit, d. h. die Gesamtzahl von Luftionen und von Metallionen ist proportional E^*. Durch die Proportionalität von Strahlintensität und Kapazität wird dies bestätigt. Jetzt geben die Sätze 1 bis 7 den Nachweis, daß auch die Zahl der Metallionen allein proportional mit E^* ist. Dabei ist zu berücksichtigen: Wirksam, d. h. spannungssenkend ist vom Lichte des Funkens nur sein ultravioletter Teil (unter $280 \cdot 10^{-7}$ cm), nur über ihn gibt Satz 1 bis 7 Auskunft; die Strahlwirkung ist sozusagen ein Ultraviolettfilter. Daher tritt die Wirkung des Luftfunkens zurück gegenüber der Strahlwirkung der Metalldampffontänen. Daher erweist sich die wirksame Strahlhelligkeit einerseits proportional mit E^*_{max}, jedoch andererseits fast unabhängig von F^*.

8. Mehrere synchrone Stoßfunken

Die Stoßanordnung erlaubt in mehreren Unterbrechungen eines metallischen Nebenschlusses zu W_0 gleichzeitig und mit synchronem gleich starkem Stromstärkenverlauf, speziell mit dem gleichen und gleichzeitigen i^*_{max} eine ganze Reihe, z. B. Z-Funken herzustellen. Sind deren Spitzenelektroden aus gleichem Material, so hat man zudem gleiche spektrale Qualität. Auch bei verschiedener, jedoch (nach den Ausführungen zu Fig. 5) nicht zu kleiner und nicht zu großer Länge besitzen alle solchen Teilfunken die gleiche Intensität. Stehen diese Teilfunken gleich weit vom Empfänger, so kann man leicht durch Abblenden die Beleuchtungsstärke in Verhältnissen von $1 : 2 : 3 \ldots : Z$ verändern.

In der Funkenlampe ließen sich, wegen Raummangel, nur zwei (höchstens drei) Teilfunken genügender Länge erzeugen. Schiebt man in den langen Funken F^* mit Strahlwirkung W^* eine an ein Glas- oder Holzstäbchen seitlich befestigte doppelkegelförmige Zwischenelektrode, so entstehen die Teilfunken F^{**} oben und F^{**} unten, welche untereinander und mit F^* gleiche Intensität besitzen, hinreichend große Funkenlängen vorausgesetzt. Das Intensitätsverhältnis $1 : 2$ läßt sich also in doppelter Weise erzwingen:

1. durch F^* allein und im Vergleich zu beiden Teilfunken zusammen. Wirkungen W^* und W^{**}.
2. der obere oder untere Teilfunken allein im Vergleich zu beiden Teilfunken zusammen. Wirkungen $\frac{1}{2}(W^{**}_{oben} + W^{**}_{unten})$ und W^{**}; hier können, falls gleich lang, F^{**}_{oben} und F^{**}_{unten} sehr klein sein.

In Tabelle VI ist ein Meßsatz zur ersten Möglichkeit mitgeteilt.

Die Verdopplung der Strahlintensität entspricht einer Abstandsverkürzung im Verhältnis von 2 m zu $\sqrt{2}$ m; mittels Gleichung (4) rechnet sich aus den Mittelwerten von Tabelle VI

$$b = 0{,}2780 \quad \text{und} \quad W_\infty = 6198\,\mu$$

für die Strahlwirkung eines Funkens zwischen

1) Vielleicht deutet das auf Schwingungen (mit großer Stromstärken- und kleiner Spannungsamplitude) durch F_{10} und F^* hin.

2) M. Toepler, Archiv für Elektrotechnik Bd. XVIII. 1927, 6. Heft, S. 563–566.

3) M. Toepler, Archiv für Elektrotechnik Bd. XXII. 1929, 3. Heft, S. 243–244.

4) M. Toepler, Archiv für Elektrotechnik Bd. XIV. 1925, 3. Heft, S. 305–318.

Kupferspitzen, gespeist aus $F_{10} = 1{,}75$ cm mit $K_{12} = 20000$ cm.

Zahlreiche Messungen wurden nach der zweiten Möglichkeit ausgeführt. Diese Messungen ergaben im Mittel

bei $F_{10} = 1{,}75$ cm
für *Cu*-Spitzen $b = 0{,}272$ und $W_\infty = 6023\,\mu$,
für *Mg*-Spitzen $b = 0{,}266$ und $W_\infty = 4436\,\mu$,

bei $F_{10} = 1{,}25$ cm
für *Cu*-Spitzen $b = 0{,}276$ und $W_\infty = 4294\,\mu$,
für *Mg*-Spitzen $b = 0{,}298$ und $W_\infty = 2904\,\mu$.

Alle Messungen mit K_{12} gleich 20000 cm.

Es fand sich demnach:

Satz 7: Die Größe b von Gleichung (4) ist nahe unabhängig vom Spitzenmaterial; die zu erwartende Änderung nahe umgekehrt der vierten Wurzel von F_{10} erscheint angenähert erfüllt. Die Größe W_∞ ist vom Spitzenmaterial stark abhängig und, wie erwartet, nahe proportional F_{10}; speziell findet man $P_{10} = 8{,}5 \cdot W_\infty$ für die Kupferelektroden.

III. Erweiterung der Grundgleichungen der Wirkung und der Strahlhelligkeit

9. Erweiterung der Grundgesetze

Neben die Helligkeit des Funkens, umfassend den sichtbaren Spektralteil tritt die Strahlintensität I des Funkens, umfassend die Wirkungsfähigkeit des unsichtbaren ultravioletten Spektralteiles.

Zu I gehört der Begriff der Beleuchtungsstärke B, welche sich bei gleichbleibendem Strahler F^* mit dem Abstand A zum Empfänger F_5 ändert

$$B_1 : B_2 = A_2^2 : A_1^2 \qquad (3)$$

Die Wirkung W ist eine Folge von B und somit vom Abstand A abhängig. Die von mir in der eingangs angeführten Arbeit experimentell ermittelte Grundgleichung der Wirkung

$$\log W = \log (s_{max} - s_{norm}) = a - b \cdot \sqrt{A} \qquad (4)$$

mit

$$a = \log W_\infty \qquad (4^*)$$

und

$$b_1 : b_2 = \sqrt[4]{I_1} : I_2 \qquad (4^{**})$$

ist genau genommen eine Beziehung zwischen W und B bzw. I; so ergab sich[1]) die photometrische Grundgleichung

$$\sqrt[4]{I_1} : I_2 = \left[1 - \frac{\log W_2 - \log W_1}{b_1 \sqrt{A_1}}\right]. \qquad (5)$$

Mit Hilfe von Gleichung (4) kann man nun die Wirkung W mit jeder anderen B bestimmt bedingenden oder von B bestimmt abhängigen Größe in bestimmte Beziehung setzen.

Tabelle VII

$F_{10} = 1{,}750$ cm mit $K_{12} = 20000$ cm
$F_5 = 1{,}752$ cm mit $K_{34} = 6250$ cm
F^* mit Kupferspitzen
F^{**} mit Kupferdoppelkegel 1,05 cm lang

Einheitlich		Geteilt	
F^* in cm	W^* in μ	F^{**} in cm	W^{**} in μ
0,50	2486	—	—
1,00	2488	—	—
1,50	2483	$2 \times 0{,}225$	2408
2,00	2543	$2 \times 0{,}475$	2900
2,50	2533	$2 \times 0{,}725$	2883
3,00	n. Käfigung	$2 \times 0{,}975$	2828
3,50	n. Käfigung	$2 \times 1{,}225$	2833
4,00	n. Käfigung	$2 \times 1{,}475$	2867

Nach l. c. Gleichung (6) ist I proportional K_{12} je für bestimmtes F_{10}, ferner ist die Zahl Z mehrerer gleicher auf den Empfänger wirkender gleichzeitiger Funken unabhängig von A und K_{12}; man gewinnt demnach die erweiterte Grundgleichung der Wirkung

$$\left.\begin{aligned} \log W &= \log W_\infty - b_0 \sqrt{A} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{K_{12}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{Z}} \\ &= \log W_\infty - b_0 \sqrt[4]{\frac{A^2}{K_{12} \cdot Z}} \end{aligned}\right\} \qquad (4^{***})$$

Will man, als physikalisch wegen Satz 4 besonders wichtig, die Größe E^*_{max} in der Grundformel haben, so ist zu bedenken, daß K_{12} in Gleichung (6) nur E^*_{max} vertritt. Demnach könnte man statt K_{12} die Größe E^*_{max} einführen, natürlich unter Verschmelzen der Proportionalitätskonstante mit b_0.

Ändert man eine der Größen Z, K_{12}, E^*_{max} usw., so ändert sich in Gleichung (4) die „Konstante" b. Die Gleichung (4^{***}) enthält auch diese Änderungen, man kommt zu einer Erweiterung von Gleichung (4^{**}).

[1]) Im Original enthält die Gleichung (5) einen jetzt verbesserten Vorzeichenfehler!

10. Strahlwirkung W und Schlagweite F_5 des Empfängers

Die Beziehung zwischen der durch die Strahlung des Funkens F^* erzeugten Wirkung W und F_5 ist nicht einfach; sie gehorcht verschiedenen Gesetzen (vgl. Fig. 3), je nachdem F_5 kleiner oder größer ist als die Schwenkstelle, SF_5, und wird von der Käfigung von F_5 beeinflußt. Für jede neue Ausbildungsform des Vorprozesses des Funkens F_5 gelten also zum mindesten andere Konstanten, auch ist mit dem Einfluß geänderter Zeitverzögerung zu rechnen.

Die Beziehungen zwischen W und F_5 sind bei den Versuchen vorliegender und der früheren Arbeit zudem noch belastet mit der experimentellen Kopplung $P_{10} = P_5$ bzw. F_{10} nahe gleich F_5.

Unterhalb der Schwenkstelle SF_5 in Fig. 3 (mit einem Grenzwert der Wirkung gleich SW_∞) haben wir einen einheitlichen Verlauf. Mittels Gleichung (4) und bei Zugrundelegen der Erfahrung, daß SW_∞ proportional P_{10} bzw. P_5 bzw. F_{10} bzw. F_5 sowie bei Berücksichtigung der Kopplung $P_{10} = P_5$ findet man

$$\log (W \text{ für } SF_5 : n) = \log \frac{1}{n} SW_\infty - b \sqrt{A \cdot \sqrt{n}} \quad (7)$$

Dies ist eine Anstiegskurve s, beginnend horizontal bei O und einem bei Annäherung an SF_5 nahe geradlinigem nach einem Punkt OF_5 rechts des Nullpunktes zielenden Verlauf.

IV. Elektrodenmaterial und die Strahlwirkung sowie Strahlhelligkeit von Funken. Helligkeit des Blitzes

11. Strahlersubstanz und Strahlhelligkeit

Die Wirkung W in bestimmtem Abstand und sonst gleichen Bedingungen hängt vom Elektrodenmaterial ab; dies zeigten z. B. schon die Tabellen IV und V. Es schien erwünscht, durch tunlichst raschen Austausch des Elektrodenmaterials bei sonst völlig gleichbleibenden Bedingungen von den schwankenden Nebeneinflüssen möglichst freizukommen, wie von Barometerstand, Temperatur, Feuchtigkeit, besonders aber von den so störenden Alterungseinflüssen, vornehmlich dem Altern der Empfindlichkeit des Empfängers F_5.

Zur fortlaufenden Prüfung der Empfindlichkeit von F_5 dienten immer wiederholte Messungen der Wirkung der recht konstanten Strahlung von Cu-Spitzen.

Satz 8: Die Tabellenwerte für Cu zeigen ein sehr langsames Absinken der Empfindlichkeit. Dem ist übergelagert ein starkes Absacken der

Tabelle VIII

$F_{10} = 1{,}75$ cm mit $K_{12} = 20000$ cm
F_5 ganz frisch, Anode gekäfigt

Spitzen F^* aus	W in μ	I ($Cu = 100$)
A. 75,5 cm Hg; 20,6° C; 58 Proz. r. F. nach 200 Funken F_5		
Cd	2835	125,0
Ag	2292	35,4
Bi	2375	54,0
Mg	2159	31,6
Pause kurz		
Sn	2284	43,7
Cu	2695	100,0
Fe	2675	96,7
B. 75,5 cm Hg; 21,2° C; 54 Proz. r. F. nach 200 Funken F_5		
Mg	1910	16,7
Bi	2230	43,9
Ag	2030	25,1
Cd	2580	91,7
Cu	2630	100,0
Zn	2670	107,0
Sn	2043	26,1
Al	2455	72,4
Ni	2517	81,6
Fe	2617	97,8
Tl	2280	49,5
Chrom Ni	2380	62,0
Graphit	2047	26,4
C. 75,6 cm Hg; 20,0° C; 46 Proz. r. F. nach 200 Funken F_5		
Zn	2959	144,8
Cu	2708	98,8
$Cer\ Fe$	2279	41,3
Graphit	2046	21,4
Mg	1979	17,0
Cd	2804	115,1
Cu	2725	101,4
D. 74,3 cm Hg; 16,8° C; 55 Proz. r. F. nach 55 Funken F_5		
Cu	2250	73,0
Au	2223	68,6
Pt	2442	106,3
Zn	2505	131,8
Cd	2475	112,7
Pb	2200	66,5
Mg	1895	28,3
Cu	2400	98,4
Au	2363	91,6
Pt	2538	125,6
Cd	2450	107,8
Cd	2400	98,4
Zn	2659	152,8
Pb	2055	45,4
Mg	1883	27,3
Sn	2195	64,2
Cu	2409	100,0
Pause kurz		
Ag	2130	56,2
Bi	2115	53,0
Al	2505	118,9
Tl	2425	103,0
Cu	2445	106,8

Tabelle VIII (Fortsetzung)

Spitzen F^* aus	W in μ	I ($Cu = 100$)
E. 76,6 cm *Hg*; 21,5° C; 36 Proz. r. F. nach 150 Funken F_5		
Cu	2200	103,8
Au	2100	83,8
Ag	2100	83,8
Cu	2150	93,7
Au	2063	77,1
Ag	2200	103,8
Ag	2250	114,8
Cu	2200	103,8
Au	2067	77,8
Au	2250	114,8
Ag	2248	111,8
Cu	2175	98,8
Mg	1817	39,9
Mg	1900	50,8
F. 75,7 cm *Hg*; 22,3° C; 57 Proz. r. F. nach 200 Funken F_5		
Ag	1952	58,5
Ag	2188	101,1
Cu	2188	101,1
Ag	2238	111,6
Cu	2198	103,1
Ag	2238	111,6
Sprung aus unbekannter Ursache		
Ag	2348	101,2
Cu	2346	100,7
Ag	2322	96,2
Au	2305	93,0
Cu	2338	99,3
Pause mehrere Stunden; nach 200 Funken F_5		
Cu	2277	102,6
Mg	1812	30,6
Cu	2250	97,4

Empfindlichkeit in jeder längeren Pause, von dem sich aber die Empfindlichkeit durch Einbrennen rasch wieder erholt.

Bei Tabelle VIII wurde, wie angegeben, nach jeder Pause vor dem folgenden Meßsatze mit 200 Funken in F_5 eingebrannt.

In Tabelle IX sind zu den *Cu*-Messungen die Anzahl N der jeweils nach der Pause insgesamt (ohne besonderes Einbrennen) in F_5 aufgetretenen Funken angegeben, um zu zeigen, wie sich die *Cu*-Wirkung vom Absacken durch ein fortschreitendes N erholt.

Gemeinsam war für Tabelle VIII und IX die Versuchsanordnung nach Fig. 1 mit K_{12} gleich 20000 cm, K_{34} gleich 6250 cm, $A = 2{,}0$ m; in der Funkenlampe wurde F^* stets 1,5 cm lang eingestellt.

Begonnen wurde mit frisch geputztem F_{10} und mit ganz neuen Messingkugeln bei F_5;

Tabelle IX. $F_{10} = 1{,}50$ cm mit $K_{12} = 20000$ cm F_5 alt, Anode gekäfigt

Spitzen F^* aus	W in μ	Messung nach	I ($Cu = 100$)
A. 75,6 cm *Hg*; 21,8° C; 40 Proz. r. F.			
Cu	1275	14 F_5	—
Cu	1750	48 F_5	—
Cu	1867	102 F_5	93,6
Ag	1850	—	89,9
Au	1963	—	116,4
Cu	1950	295 F_5	113,2
Ag	1910	—	103,2
Au	1950	—	113,2
Pt	2151	—	168,2
Cu	1890	590 F_5	98,7
Ag	1880	—	96,5
Au	1887	—	98,0
Te	1810	—	81,2
Cd	1792	—	77,7
Cu	1875	1050 F_5	95,4
Pb	1700	—	60,4
Bi	1725	—	64,8
Sn	1717	—	63,4
Mg	1500	—	30,7
Graphit	1525	—	33,9
Te	1857	—	92,1
Cu	1860	1480 F_5	92,2
Ni	1870	—	94,3
Cu	1900	1620 F_5	100,9
Al	1950	—	113,2
Tl	1863	—	92,9
Zn	2055	—	140,6
Pt	2078	—	146,8
Cu	1900	1930 F_5	100,9
Cd	1834	—	86,3
Te	1813	—	81,8
Cu	1925	2110 F_5	107,0
Cd	1930	—	100,3
Cd	1838	—	87,2
Pt	2025	—	132,4
B. 74,2 cm *Hg*; 22,7° C; 50 Proz. r. F.			
Cu	1841	60 F_5	92,4
Na	1475	—	29,7
K	1450	—	27,5
Li	1507	—	33,7
Na	1490	—	28,0
K	1530	—	36,9
Li	1550	—	39,6
Cu	1930	670 F_5	113,6
Pause, Einbrennen F_5			
Cu	1875	810 F_5	100,0
Fe	1850	—	94,4
Co	1750	—	73,2
Ni	1925	—	112,3
Cu	1834	1040 F_5	90,9
Au	1775	—	78,2
Ni	1884	—	102,0
Fe	1900	—	106,0
Cu	1875	1220 F_5	100,0
Tl	1784	—	80,0
Graphit	1458	—	27,6
Graphit	1432	—	24,7
Mg	1463	—	28,3
Pause 4 Stunden, ohne Einbrennen			
Mg	1312	—	—
Cu	1741	56 F_5	—

letztere wurden weiterhin weder geputzt noch abgewischt, noch berührt. Es folgten sich: Satz 11 von Tabelle V, siehe auch Tabelle VIII A anfangs, Tabelle VIII B und C, dann zahlreiche sonstige, nicht veröffentlichte Messungen, z. B. über Absorption von Ozon, von Uviolglas, dann Tabelle VIII D, wieder sonstige Messungen, Tabelle VIII E und F, schließlich Satz 12, 13, 14 von Tabelle V, siehe auch Tabelle VIII am Ende. Nach längerer Pause folgten ohne Zwischenmessungen Tabelle IX A und B.

Man erkennt: Wesentlich stärker als *Cu* strahlen nur *Zn* und *Pt*, *Fe*, *Ag*, *Au* und *Ni* strahlen beinahe ebenso stark wie *Cu*, viel schwächer strahlen *Li*, *Na*, *K* sowie *Mg* und Graphit.

Satz 9: Chemisch ähnliche Elemente haben nahe gleiche Strahlwirkung, entsprechend der Ähnlichkeit ihrer Spektren; auch die Strahlwirkung zeigt mit wachsendem Atomgewicht ein periodisches Auf und Nieder.

12. Strahlhelligkeit I von Metallfunken, Luftfunken und des Blitzes

Die in den Tabellen VIII und IX angegebenen Strahlhelligkeiten I wurden nach Gleichung (5) mit $A = 2$ und für VIII, d. h. F_{10} gleich 1,75 cm mit $b = 0{,}272$ für IX, d. h. $F_{10} = 1{,}50$ cm mit $b = 0{,}281$ berechnet; bezogen ist I auf die gleich 100 gesetzte Strahlhelligkeit für Funken zwischen Kupferspitzen.

Natürlich könnte man auch eine bestimmte Einheit für die Strahlhelligkeit einführen, z. B. die einer Kupferfontäne bei E^*_{max} gleich einem Milli-Coulomb; die Werte von Tabelle VIII wären mit $2 \cdot 0{,}0118$ und die von Tabelle IX mit $2 \cdot 0{,}0102$ zu multiplizieren. Hierzu ist zu bemerken, daß nach meiner der Fig. 2 zugrunde liegenden Theorie der Funkenbildung alle Batteriefunken mit unwesentlich kleinem Ohmschen Widerstand und Selbstinduktion im Schließungskreise die gleiche Zeitdauer von rund 10^{-7} sec besitzen.

In Abschnitt 7 wurde auch nebenbei die Strahlwirkung eines 2 cm langen „Luftfunkens" gemessen (vgl. Tabelle VI). Im Anschluß an Tabelle VIII E rechnet sich aus $W = 1368$ ein Wert I gleich 5,0.

Satz 10: Ein Luftfunken von 1 cm Länge wirkt also bei gleichem E^*_{max} rund 20mal schwächer als eine Kupferfontäne gleicher Dauer.

Im Vergleiche zum Batteriefunken $F_{10} = 1{,}75$ Kupfer mit $K_{12} = 20000$ cm besitzt ein starker Blitz zwar etwa die gleiche Höchststromstärke, entlädt aber eine rund zehntausendfache Elektrizitätsmenge. Hiernach würde für 1 cm Blitzbahn eine rund 250fache Strahlhelligkeit folgen, ein wegen der rund zehntausendfachen Blitzdauer (mit starker Molisation) sicher bei weitem nicht erreichter oberer Grenzwert.

Zusammenfassung

Bei Stoßpunkten läßt sich die Spannung (und Schlagweite) unabhängig von der geflossenen Elektrizitätsmenge dosieren. Die Strahlhelligkeit eines Stoßfunkens erweist sich als letzterer proportional; ionentheoretische Folgerungen. Das früher aufgestellte Grundgesetz der Beziehung zwischen Beleuchtungsstärke und Strahlwirkung erfährt eine Abstand, Zahl, Kapazität, entladene Elektrizitätsmenge des Strahlers umfassende erweiterte Formulierung. Die unterschiedliche Strahlwirkung von 22 verschiedenen Substanzen als Elektrodenmaterial wird gemessen und die Strahlhelligkeit zu Kupfer als Bezugssubstanz angegeben. Die Strahlhelligkeit des Blitzes wird abgeschätzt.

Dresden, Institut für theoretische Physik der Technischen Hochschule.

(Eingegangen 2. Januar 1939)

ZUSCHRIFTEN

Aussendung von Normalfrequenzen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender

Von A. Scheibe und U. Adelsberger

Seit 1. Februar werden von dem Deutschlandsender werktäglich von $11-11^{08}$ Uhr 1000 Hz als Normalfrequenz und von $11^{08}-11^{12}$ Uhr 440 Hz als Stimmton ausgesandt. Diese beiden Frequenzen werden in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von der Quarzuhr VII erzeugt und über Leitungen dem Funkhaus zur Aussendung zugeführt. Die Normalfrequenzen stimmen mit dem angegebenen Nennwert 1000 bzw. 440 bis auf $1 - 2 \cdot 10^{-8}$ ihres Betrages überein. Durch die regelmäßige Aussendung dieser Normalfrequenzen soll allgemein den wissenschaftlichen und technischen Instituten und Laboratorien von Behörden und Firmen, wenn auch täglich nur für wenige Minuten, eine Normalfrequenz zur Nachprüfung eigener Frequenznormale oder zur Hilfe bei den wissenschaftlichen Untersuchungen zur Verfügung gestellt werden.

Über Fragen, die mit dieser Aussendung zusammenhängen und über das für die Aussendung der Normalfrequenzen entwickelte Steuergerät wird in der Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik ausführlich berichtet werden.

Berlin-Charlottenburg, Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Februar 1939.

(Eingegangen 24. Februar 1939)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

Fortschritte der Astronomie. Herausgegeben von der Astronomischen Gesellschaft. Redaktion P. ten Bruggencate. Band 1: W. Becker, Materie im interstellaren Raum. Gr.-8°. IV u. 78 S. Mit 11 Abb. im Text und 1 Tafel. Leipzig 1938. J. A. Barth. RM 7.50, für Mitglieder der Astronomischen Gesellschaft RM 6.40.

Die mit diesem Band eröffnete Reihe von Forschungsberichten wendet sich nicht nur an Astronomen, sondern „auch an Fachgenossen der benachbarten Naturwissenschaften, insbesondere an Physiker. Denn man muß sich stets vor Augen halten, wie Fortschritte in einem Fach der Naturwissenschaften befruchtend auf die Entwicklung benachbarter Fächer wirken können. Die Geschichte der Astrophysik ist reich an solchen Beispielen." (Aus dem Vorwort des Herausgebers.) Wir Physiker begrüßen dieses Unternehmen dankbar und wünschen ihm vollen Erfolg.

Der vorliegende Band von W. Becker behandelt die interstellare Materie, soweit sie sich durch Absorption des Sternlichts bemerkbar macht (helle Nebel, interstellare Linienabsorption und Hagensche Wolken sind nicht besprochen). Die ins einzelne gehende Untersuchung zeigt, daß zweifellos in der näheren Umgebung der Sonne absorbierende Wolken definierter Natur vorhanden sind, während eine gleichmäßig in der Milchstraßenzone verteilte Absorption noch nicht erwiesen scheint. Auf quantitative Aussagen über Natur und Menge der absorbierenden Materie, die den Physiker vor allem interessieren würden, wird man daher wohl noch einige Zeit warten müssen.

C. F. v. Weizsäcker

Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Lieferung 467. Herausgegeben von Emil Abderhalden. Abteilung V: Methoden zum Studium der Funktionen der einzelnen Organe des tierischen Organismus. Teil 10. Heft 7: M. Wreschner, Lichtquellen für wissenschaftliche Zwecke. Mit 20 Abb. 27 S. — Dieselbe, Instrumente und Methoden zur elektrischen Strom- und Spannungsmessung. Mit 48 Abb. 100 S. Berlin und Wien 1938. Urban und Schwarzenberg. RM 13.—.

In den beiden Artikeln wird in sachlich einwandfreier Weise eine gut lesbare Zusammenstellung der Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten wissenschaftlicher Lichtquellen bzw. der elektrischen Meßinstrumente gegeben. Die kurz gehaltene, aber klare Darstellung beschränkt sich dabei auf die physikalischen Grundlagen und das methodisch Wesentliche der verschiedenen Konstruktionen. Ausreichende Literaturangaben geben die Möglichkeit genauerer Orientierung. Die Auswahl der Methoden ist naturgemäß auf den biologisch interessierten Leser zugeschnitten, so daß der Physiker eine genauere Beschreibung mancher Hilfsmittel, z. B. etwa des Röhrenvoltmeters, vermissen wird.

Nur eine, im Rahmen des Ganzen unbedeutende Ausstellung: Die Bezeichnung der Hefnerkerze als photometrischer Grundeinheit neben dem Lichtstrom als photometrischer Grundgröße ist ohne nähere Erläuterung begrifflich verwirrend. Begriffliche Definition und praktische Verwirklichung der Einheit sind nicht streng voneinander geschieden.

Matossi

G. Hoheisel, Gewöhnliche Differentialgleichungen (Sammlung Göschen, Band 920). Dritte, neubearbeitete Auflage. Kl.-8°. 126 S. Berlin 1938. Walter de Gruyter u. Co. Geb. RM 1.62.

Die vorliegende Neuauflage des bestens bekannten Büchleins unterscheidet sich von der vorhergehenden vor allem durch die erheblich vereinfachte Behandlung der besonders auch für den Physiker wichtigen Randwertaufgaben bei gewöhnlichen linearen Differentialgleichungen zweiter Ordnung (Kapitel III). Es werden jetzt nämlich unmittelbar (d. h. unter Umgehung der früher hierbei herangezogenen Oszillationstheoreme) die Existenz- und Entwicklungssätze (mit Hilfe asymptotischer Darstellung der Eigenfunktionen) aus denen für Fourierreihen gewonnen. Auch der Beweis des Vollständigkeitssatzes ist bemerkenswert vereinfacht. Ferner werden unter anderem die für den Physiker ebenfalls wichtigen linearen Systeme etwas eingehender behandelt. Schließlich sind Verweise auf die in der gleichen Sammlung (als Nr. 1059) erschienene Aufgabensammlung des Verfassers angebracht.

Haupt

K. W. F. Kohlrausch, Der Smekal-Raman-Effekt. Ergänzungsband 1931—1937. (Struktur und Eigenschaften der Materie. Herausgegeben von F. Hund u. H. Mark, Bd. XIX.) X und 228 S. Mit 27 Abb. Berlin 1937. Julius Springer. RM 24.—; geb. RM 25.60.

Jeder auf dem Gebiet des Ramaneffekts Arbeitende wird es begrüßen, daß Kohlrausch seinem bekannten 1931 erschienenen Buch einen weiteren „Führer durch die nach sachlichen Gesichtspunkten geordnete Literatur" als Ergänzung hat folgen lassen. Daß es ein ausgezeichneter Führer ist, versteht sich beinahe von selbst. Getreu dem Charakter als „Hilfs- und Nachschlagebuch" werden die Probleme, bei deren Lösung der Ramaneffekt zu Rate gezogen werden kann (u. a. Molekülbau, zwischenmolekulare Kräfte, konstitutive Beeinflussung, Ringspannung, freie Drehbarkeit), zwar alle zur Sprache gebracht und ihre Bedeutung aufgezeigt, sie werden aber nicht lehrbuchmäßig abgehandelt. Die Zusammenstellung der Methoden

und Ergebnisse ist zuverlässig und kritisch, wie nach dem maßgebenden Anteil, den das Institut des Verfassers an der Untersuchung des Ramaneffektes hat, nicht anders zu erwarten ist. Aus Raumgründen mußten leider Tabellen der Ramanlinien im Gegensatz zum Hauptband fehlen; es wird dafür auf Landolt-Börnstein verwiesen. Ausführliche Verzeichnisse aller untersuchten Substanzen, alphabetisch und sachlich geordnet, sorgen aber dafür, daß dieser „Kohlrausch" des Ramaneffektes auch als Nachschlagewerk wertvoll und unentbehrlich ist.

Besonders dankenswert ist das einleitende Kapitel über die Theorie der molekularen Lichtstreuung. Alles, was für die Verwertung des Ramaneffekts zur Erforschung des Molekülbaus an theoretischen Kenntnissen und Methoden gewußt werden muß, wird darin sehr klar und durchdacht dargestellt; alles Überflüssige ist vermieden, alles sachlich oder pädagogisch Notwendige ist übersichtlich gebracht. Der Referent hätte vielleicht nur den einen Wunsch gehabt, daß in den Tabellen über die Auswahlregeln auch noch die Tensorkomponenten selbst Platz gefunden hätten, was die Anwendung auf Kristalle erleichtert hätte. Da die Untersuchung von Flüssigkeiten und Gasen aber von größerer praktischer Bedeutung ist und auch Raumgründe dagegen sprechen mochten, so war ein solcher Wunsch im gegebenen Rahmen wohl nicht gut zu erfüllen.

Dieses Buch von Kohlrausch sollte nicht nur in der Hand des Physikers sein, sondern auch der Nichtphysiker, der an der Molekülforschung interessiert ist, wird daraus viel Nutzen ziehen können.

Matossi

Gerhard Kowalewski, Große Mathematiker. Eine Wanderung durch die Geschichte der Mathematik vom Altertum bis zur Neuzeit. Gr.-8°. 300 S. Mit 35 Textfiguren und 16 Kunstdrucktafeln. München/Berlin 1938. J. F. Lehmanns Verlag. Geh. RM 10,20, geb. RM 11.60.

Diese Geschichte der Mathematik versucht „dem Leser die Gestalten der großen Forscher näherzubringen". Sie „soll nicht nur den Bedürfnissen der Fachmathematiker dienen, sondern auch dem weiten Kreise aller derer etwas bieten, die um die grundlegende Bedeutung der Mathematik für die moderne Kulturentwicklung wissen" (Vorwort). Dieses Ziel erreicht das Buch in trefflicher Weise. Vollständigkeit ist nicht erstrebt. Dafür kommt bei jedem der besprochenen Mathematiker sowohl die Biographie wie die Problemgeschichte zu ihrem Recht.

Die Darstellung beginnt mit dem griechischen Altertum (die Ägypter sind gestreift, die hochinteressanten Untersuchungen von Neugebauer über die Babylonier leider nicht erwähnt); nicht nur die großen Namen Pythagoras, Euklid, Archimedes gewinnen Gestalt, sondern auch die heute wohl zu Unrecht unbekannten späten Alexandriner Pappus und Diophant. Über das Mittelalter, die Renaissance und die „Vorläufer von Newton und Leibniz" (Descartes, Fermat, Huygens) strebt die Darstellung den Schöpfern der Infinitesimalrechnung als ihrem ersten Höhepunkt zu. Forschungswege und Ergebnisse beider Männer sind ausführlich dargestellt. Nur die genaue Schilderung ihres Prioritätsstreits hinterläßt naturgemäß einen unangenehmen Nachgeschmack: die naive Freude, daß die Geschichte der Mathematik „zwei solche Kerle besitzt", ist angenehmer als der genaue Einblick in das Menschlich-Allzumenschliche jener Zeit, zumal der kleinen Apostel großer Geister.

Hieran schließt sich als zweite Hälfte des Buches der weitere Ausbau der höheren Analysis, getragen von den Bernoullis, von d'Alembert, Maclaurin, Euler, Lambert, Lagrange, Laplace, Monge, Pfaff, Gauß und Cauchy. Diese alle sind uns durch ihre wichtigsten Leistungen bekannt. Schon weniger bekannt ist der Entwicklungszusammenhang und die Wechselwirkung dieser Leistungen. Schließlich werden uns viele Mitteilungen über ihr Leben und ihren menschlichen Charakter überraschen; nur als ein Beispiel sei die verständnisvolle Schilderung des sehr verschiedenen und jeweils menschlich begreiflichen Verhaltens der französischen Mathematiker gegenüber den politischen Wechselfällen der großen Revolution und ihrer Nachfolger genannt. Einen besonderen Wert des Buches stellen die 16 ganzseitigen Porträttafeln dar; in ihnen spiegelt sich nicht nur die menschliche, sondern vielfach auch die wissenschaftliche Wesensart, so etwa im Gesicht Eulers die sprühende Erfindungskraft, in dem von Lagrange die großartige Abstraktion.

C. F. v. Weizsäcker

Martin Littmann, Getterstoffe und ihre Anwendung in der Hochvakuumtechnik. (Gasaufzehrung durch Metalldämpfe.) IV u. 103 S. 45 Abb. Leipzig 1938. Wintersche Verlagsbuchhandlung. RM 8.40, geb. RM 9.80.

Zahlreiche Massenprodukte der industriellen Hochvakuumtechnik lassen sich rationell nur unter Heranziehung der Gasaufzehrung durch Metallverdampfung (Getterung) herstellen (z. B. Rundfunkröhren, Photozellen, Braunsche Röhren, Glühkathodengleichrichter). Bei anderen wird die Getterung unterstützend herangezogen. Auch bei sehr vielen Aufgaben der wissenschaftlichen Laboratoriumsarbeiten ließe sich in noch weiterem Maße wie bisher von der Getterung Gebrauch machen. Für jeden Hochvakuumphysiker wird daher das Werk von Littmann ungemein nützlich sein können, da in ihm zum ersten Male zusammenfassend alle vorliegende Erfahrung dargestellt ist, mit vielen Hinweisen auf zweckmäßige Wahl, Anbringung, Anordnung der Gettermaterialien und die zweckmäßige Einordnung der Getterung in den Pumpprozeß.

Nach kurzer Darstellung der Grundlagen der Gettertechnik werden die handelsüblichen Gettermaterialien an Hand zahlreicher Abbildungen besprochen und ihre Anwendung für viele Beispiele gleichfalls an Hand von Abbildungen gezeigt. Die Grenzen des Verfahrens werden besprochen und Hinweise zur Vermeidung von Fehlern gegeben. Den Schluß bildet eine Zusammenstellung der wichtigsten in- und ausländischen Patentschriften über Getterung.

Dem Buche ist eine weite Verbreitung zu wünschen.

E. O. Seitz

B. Riemann, Partielle Differentialgleichungen und ihre Anwendungen auf physikalische Fragen. Unveränderter Abdruck der 3. Auflage 1882. Gr.-8°. XII u. 325 S. Mit 46 Fig. Braunschweig 1938. Friedr. Vieweg & Sohn. Geb. RM 9.60.

Riemanns Vorlesungen über partielle Differentialgleichungen haben seit ihrem ersten Erscheinen mehrfach Bearbeitungen und Ergänzungen erfahren. Aus dem ursprünglichen kleinen und „handlichen Buche" ist dabei im Laufe der Zeit ein dickes, zweibändiges „Handbuch" entstanden, das zwar das vollständige Rüstzeug zur Behandlung partieller Differentialgleichungen enthält und damit für den mathematischen Physiker ein unentbehrlicher Ratgeber geworden ist, das aber andererseits für den, der sich zum erstenmal in diesen Problemkreis einarbeiten und dort einen Überblick verschaffen will, einfach zu umfangreich geworden ist.

Hier soll die unveränderte Neuherausgabe der 1882 erschienenen dritten Auflage von Riemanns Vorlesungen in die Bresche springen und die entstandene Lücke ausfüllen. Man wird sich wundern, daß ein Verlag es wagen kann, ein 56 Jahre altes Buch in seiner Erstfassung wieder herauszubringen. Es wird aber verständlich, wenn man bedenkt, daß gerade diese klassische Einführung in die Lehre von den partiellen Differentialgleichungen sowohl in ihrer sprachlichen Ausdrucksform als auch in der methodischen Behandlung des Stoffes für die spätere Entwicklung eben als Vorbild diente.

„Es ist ein Werk," — wie Fritz Emde in einem Geleitwort zu dieser Neuauflage sagt — „in dem Riemann seine Hörer in vortrefflicher Weise in die mathematischen Kerngedanken einführt und mit den Lösungsmethoden vertraut macht. Dem Anfänger bietet sich auch heute kaum ein bequemerer Zugang in das Gebiet." Bagge

G. Scheffers, Lehrbuch der Mathematik. Zum Selbstunterricht und für Studierende der Naturwissenschaften und der Technik. Eine Einführung in die Differential- und Integralrechnung und in die analytische Geometrie. Siebente Auflage. Gr.-8°. VIII u. 743 S. Mit 438 Figuren. Berlin 1938. Walter de Gruyter u. Co. Geb. RM 15.—.

In der vorliegenden Neuauflage sind gegenüber der vorhergehenden nur kleinere Versehen und Druckfehler beseitigt. Das seit langem bewährte Werk, welches zugleich z. B. die Elemente der analytischen Geometrie, der Lehre von den Logarithmen, von den Kreisfunktionen sowie von der Auflösung algebraischer Gleichungen bringt und überall zu konkreten Anwendungen vordringt, kann zur Einführung nur empfohlen werden. Haupt

W. Blaschke und G. Bol, Geometrie der Gewebe. Topologische Fragen der Differentialgeometrie. Gr.-8°. VIII u. 339 S. Mit 137 Fig. Berlin 1938. Julius Springer. Geb. RM 29.70.

Wie kann man einem Kurvensystem in der Ebene ansehen, ob es durch stetige Verzerrung (ohne Zerreißung) aus dem System der Parallelen zur x-Achse, zur y-Achse und zur Winkelhalbierenden des ersten Quadranten erhalten werden kann? Dies als Beispiel einer der Fragen, von denen das Buch seinen Ausgang nimmt und die nicht nur von der Topologie her behandelt werden, sondern alsbald zu Fragen der Differentialgeometrie, der Gruppentheorie, der Grundlagen der Geometrie, der algebraischen Funktionen führen. Bei dieser Vielseitigkeit der auftretenden Probleme und der verwendeten Methoden dürfte die Lektüre dieses schönen Buches auch für einen mathematisch besonders interessierten Physiker gewinnbringend sein, nicht zuletzt auch deshalb, weil die ganze Untersuchungsrichtung weitere wichtige Entwicklungen verspricht, zumal hinsichtlich der Vorkenntnisse nicht allzu hohe Anforderuugen gestellt werden. Haupt

J. Thibaud, L. Cartan und P. Comparat, Quelques techniques actuelles en physique nucléaire. VI und 276 S. Mit 154 Fig. und 12 photographischen Tafeln. Paris 1938. Gauthier-Villars. Geh. 100.— Fr.

Kernphysikalische Untersuchungen erfordern oft einen beträchtlichen Aufwand an experimentellen Hilfsmitteln. Der Kernphysiker wird darum jedes Buch begrüßen, das geeignet ist, die experimentelle Arbeit zu erleichtern und die von anderen gesammelten Erfahrungen weiterzugeben. Die Verfasser des genannten Buches stellten sich diese Aufgabe. Sie wählten dabei einige experimentelle Methoden aus, bei denen sie über eingehende persönliche Erfahrung verfügen. Es werden behandelt: die sog. Trochoidenmethode, die zur Untersuchung von Elektronen geeignet ist; Massenspektroskopie; Proportionalverstärker; Anordnungen mit Geiger-Müller-Zählrohren.

Die Trochoidenmethode (erster Teil des Buches mit 62 Seiten) wurde von Thibaud im Jahre 1933 entwickelt und ist mit Vorteil bei sehr schwacher Strahlung von negativen oder positiven Elektronen anwendbar. Im Gegensatz zu den gewöhnlichen β-Spektrographen, bei denen man die von der Quelle kommende Strahlung bis auf einen kleinen Raumwinkel ausblenden muß, gelingt es nämlich, bei dieser Methode fast die gesamten Elektronen der Quelle in einem inhomogenen Magnetfeld zu sammeln und auf Trochoidenbahnen dem Nachweisapparat zuzuführen. An Hand vieler Zeichnungen wird das Prinzip der Methode und ihre Anwendbarkeit auf verschiedene Probleme erläutert. Davon seien u. a. hervorgehoben: Nachweis sehr schwacher radioaktiver Strahlung, wie z. B. der Positronenstrahlung bei natürlich radioaktiven Elementen; $\frac{e}{m}$ – Bestimmung für Positronen unter Zuhilfenahme eines zusätzlichen elektrischen Feldes; Messung der Annihilationsstrahlung von Positronen. Zur Aufnahme eines Elektronenspektrums ist die Thibaudsche Methode weniger geeignet, die obere Grenze des Spektrums kann allerdings photographisch bestimmt werden.

Der zweite Teil des Buches enthält auf 119 Seiten die Technik der Massenspektroskopie. Gründlich werden behandelt: Prinzip, Ionenquelle, Trennung, Fokusierung und Nachweismethode der Isotope bei verschiedenen Apparatetypen usw. Ein Abschnitt über die Anwendung der Elektronenoptik auf positive Ionen und ein Überblick über die Resultate der Isotopenforschung beschließen diesen Teil.

Den dritten Teil wird der Physiker mit Nutzen lesen, der mit dem Proportionalverstärker arbeiten will. Alle die wesentlichen Einzelheiten beim Bau des Verstärkers, wie Auswahl und Montage der Röhren und der anderen elektrischen Teile sind angegeben. Der vierte Teil endlich handelt in gleicher Ausführlichkeit über Geiger-Müller-Zählrohre und die dazugehörigen Verstärker (auch über Koinzidenzschaltungen). Da es trotz zahlreicher Arbeiten über die Wirkungsweise eines Zählrohres anscheinend noch keine sichere und reproduzierbare Herstellungsmethode für gute Zählrohre gibt, sondern meist nach einer Art alchemistischem Rezept verfahren wird, sind alle Beiträge willkommen, die die Mühe erleichtern helfen, welche der Physiker auf den Bau dieses wichtigen Hilfsmittels verwenden muß.

Die bewußte Beschränkung des Buches in der Stoffauswahl ermöglicht die Ausführlichkeit und Genauigkeit, die für einen experimentiertechnischen Ratgeber erforderlich sind. Die zahlreichen guten Abbildungen tragen wesentlich zur Erreichung des gestellten Zieles bei. Man kann im Interesse einer Arbeitsökonomie nur wünschen, daß auch die Erfahrungen mit anderen kernphysikalischen Hilfsmitteln, wie Wilsonkammer, Hochspannungsanlagen und β-Spektrographen, von Berufenen in ähnlich eingehender Weise zusammengestellt werden.

H. Reddemann

W. A. Wooster, A text book on crystal physics. Cambridge University Press 1938. XXII und 295 S.

Das für Studierende bestimmte Lehrbuch der Kristallphysik enthält Kapitel über: homogene Deformationen (an die homogene Dilatation und Wärmeausdehnung sind auch die nichthomogenen Deformationen: Gleitung, Zwillingsbildung, Spaltbarkeit, Bruch angeschlossen), Wärme- und Elektrizitätsleitfähigkeit, magnetische und elektrische Induktion, Optik durchsichtiger und opaker Kristalle, Piezo-, Pyroelektrizität, Elastizität. Jedes Kapitel beginnt mit der klassischen Darstellung, an die sich Betrachtungen vom Standpunkt der Gitterlehre anschließen. Elemente der Physik, Mathematik und der geometrischen Kristallographie werden als bekannt vorausgesetzt. Nur der Tensorrechnung ist ein Kapitel gewidmet.

Eine Sonderstellung nimmt die Kristalloptik ein: mit Rücksicht darauf, daß sie in Lehrbüchern der Kristallographie und Mineralogie recht ausführlich gebracht wird, beschränkt sich der Verfasser auf diejenigen Teilgebiete der Optik, die in diesen Lehrbüchern meist zu kurz oder häufig auch unrichtig wiedergegeben werden. Diese Beschränkung ist ein Mangel des Buches, der dadurch noch verstärkt wird, daß die polemische Diskussion über einige nebensächliche Fragen (wie bei den Achsenbildern einachsiger Kristalle, S. 138 und 145, und bei der inneren konischen Refraktion, S. 148) zu ausführlich geraten ist. So ist es z. B. für das Verständnis der Kristalloptik von ganz untergeordneter Bedeutung, daß wegen der geringen Lichtstärke der Erscheinung zur Demonstration der inneren konischen Refraktion ein nicht streng paralleles Strahlenbündel verwendet werden muß und daß infolgedessen die konische Refraktion als gewöhnliche Doppelbrechung eines jeden Strahles des Bündels aufgefaßt werden kann.

Trotzdem muß das Buch als eine sehr übersichtliche und klare Einführung in die Kristallphysik bezeichnet werden; es ist im Gegensatz zu vielen Büchern kristallographischen Inhalts keine bloße Zusammenstellung des Stoffes, sondern verrät überall eine kritische Auseinandersetzung des Verfassers mit den dargelegten Problemen.

G. Menzer

NACHRICHTEN

Preisausschreiben der Max Buchner-Forschungsstiftung. 1. (RM. 1000.—) zur Verbesserung der Reinigungsmittel und -verfahren für Aluminiumgeräte in der chemischen Technik. 2. (RM. 3000.—) zur Schaffung von für die Technik geeigneten Dispersoid-Analysen-Methoden. Der Einreichungstermin ist auf den 1. Oktober 1940 festgesetzt worden. Die Teilnahmebedingungen sind zu erhalten bei der DECHEMA Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen E.V., Berlin W 35, Potsdamer Straße 111.

Dozenturen: Dr. habil. Hans Zassenhaus an der Universität Hamburg für Mathematik.

Ernannt: Der Direktor des Staatlichen Observatoriums an der Technischen Hochschule Danzig Oberregierungsrat Dr. Harald Koschmieder zum a. o. Professor für Meteorologie an der Universität Berlin, der Chemieassessor Dr. Müller in München zum Regierungschemierat daselbst, der a. o. Professor an der Universität Berlin Dr. Paul Günther zum ord. Professor für physikalische Chemie ebenda.

Vom Lehramt zurück: Der ord. Professor für Strömungsmaschinen an der Technischen Hochschule Dresden Dr. Emil Sörensen, der ord. Professor der Mathematik an der Universität Berlin Dr. Erhard Tornier.

Gestorben: Der frühere ord. Professor für Meteorologie an der Universität Berlin Geheimer Regierungsrat Dr. Gustav Hellmann, der ord. Professor der chemischen Technologie und Brennstoffchemie an der Universität Riga Dr. Carl Blacher, der Leiter des Carlsberg-Laboratoriums in Kopenhagen Dr. S. P. L. Sörensen, der a. o. Professor der Astronomie an der Universität Kiel Dr. Carl Wirtz, der ord. Professor für physikalische Chemie an der Universität Basel Dr. August Leonhart Bernoulli.

Zu der Arbeit:

P. Weisz, Ein Zählrohrverstärker mit beliebigem Untersetzungsverhältnis.

(Physik. Zeitschr. **40**, 37, 1939)

Wie mir Herr H. Teichmann mitteilt, behandelt die Arbeit: Horst Teichmann, Das Thyratron als α-Teilchenzähler, Physik. Zeitschr. **35**, 7, 299–301, 1934 u. a. auch grundsätzlich die Stoßakkumulation mit Hilfe eines Kondensators.

P. Weisz

Verantwortlicher Schriftleiter: Professor Dr. Dr. h. c. P. Debye, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — D. A. 1330. IV. Vj. 1938. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany.